

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MECÁNICA**  
**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

**TÍTULO:**

**POTENCIALIDADES DE LOS RESIDUOS DE TOMATE PARA LA  
OBTENCIÓN DE BIOGAS EN LA FÁBRICA DE CONSERVAS “LA  
CONCHITA”**

**AUTORES:**

**FIDEL MORENO MORENO**

**LUIS GONZALO TRAVEZ PROAÑO**

**PINAR DEL RÍO – CUBA**

**2011**

**UNIVERSIDAD DE PINAR DEL RÍO**  
**FACULTAD DE GEOLOGÍA Y MECÁNICA**  
**DEPARTAMENTO DE MECÁNICA**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

**TÍTULO:**

**POTENCIALIDADES DE LOS RESIDUOS DE TOMATE PARA LA  
OBTENCIÓN DE BIOGAS EN LA FÁBRICA DE CONSERVAS “LA  
CONCHITA”**

**AUTORES:**

**FIDEL MORENO MORENO**

**LUIS GONZALO TRAVEZ PROAÑO**

**TUTORES:**

**MSC. LUIS MANUEL GARCÍA ROJAS.**

**Dr.C. LEONARDO AGUIAR TRUJILLO.**

**PINAR DEL RÍO – CUBA**

**2011**

## **PENSAMIENTO**

“Para triunfar en la vida, no es importante llegar primero. Para triunfar simplemente hay que llegar, levantándose cada vez que se cae en el camino”

**Fidel Moreno**



## PÁGINA DE ACEPTACIÓN

Facultad de Geología - Mecánica  
Departamento de Mecánica



Luego de estudiada la exposición de los diplomantes Fidel Moreno Moreno y Luis Gonzalo Travez Proaño así como las opiniones del tutor y el oponente del presente trabajo de diploma, el tribunal emite la calificación de \_\_\_\_\_

Presidente del Tribunal \_\_\_\_\_

Secretario \_\_\_\_\_

Vocal \_\_\_\_\_

Dado en la Universidad de Pinar del Río “Hermanos Saíz Montes de Oca”, a los \_\_\_\_\_ días del mes de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Declaramos que somos los autores del presente Trabajo de Diploma y que autorizamos a la Universidad de Pinar del Río, a hacer uso del mismo, con la finalidad que estime conveniente.

---

Fidel Moreno Moreno

eddym1019 @postgrado.upr.edu.cu

---

Luis Gonzalo Travez Proaño

gonzalo@postgrado.upr.edu.cu

Fidel Moreno Moreno y Luis Gonzalo Travez Proaño, autorizamos la divulgación del presente trabajo de diploma bajo licencia Creative Commons de tipo Reconocimiento No Comercial Sin Obra Derivada, se permite su copia y distribución por cualquier medio siempre que mantenga el reconocimiento de sus autores, no haga uso comercial de la obra y no realice ninguna modificación de ella. La licencia completa puede consultarse en:

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/ar/legalcode>

Autorizamos al Departamento de Mecánica adscrito a la Universidad de Pinar del Río a distribuir el presente trabajo de diploma en formato digital bajo la licencia Creative Commons descrita anteriormente y a conservarlo por tiempo indefinido, según los requerimientos de la institución, en el repositorio de materiales didácticos disponible en: "[<http://mecanica.upr.edu.cu/repositorio/>]"

## **AGRADECIMIENTO**

- ❖ A Dios por brindarme muchas oportunidades de vida y permitirme estar aquí, por guiarme y cuidarme aunque no lo merezca.
- ❖ A mis padres por ser mi apoyo constante e incondicional
- ❖ A mi familia, que no tengo palabras para agradecer todo lo que han hecho por mí.
- ❖ A mis amigos y demás personas por brindarme su amistad y ayudarme con palabras de motivación.
- ❖ A mis compañeros y compañeras de grupo que me supieron animar y ayudar y brindarme su amistad.
- ❖ A la Universidad Técnica de Cotopaxi por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios y pasar los mejores años de mi vida y a la vez a la Universidad Pinar del Rio por abrirnos las puertas y permitirnos culminar nuestras carreras.
- ❖ A todos los profesores por ese granito de arena para formarme como profesional y ser lo que soy.
- ❖ Un agradecimiento muy especial a nuestros tutores el MSc. Luis Manuel García Rojas, por su ayuda y guía para la culminación de este proyecto y al Dr. Leonardo Aguiar Trujillo por su colaboración.

**FIDEL**

## **DEDICATORIA**

- ❖ A Dios, la virgencita de las Mercedes y a mi Niño Divino por darme la oportunidad de seguir en este mundo y una nueva esperanza para alcanzar mis metas.
- ❖ A mis padres Fidel y Beatriz por ser mi apoyo incondicional, mi hombro y sobre todo ser mi inspiración que cuando alguien quiere tener algo debe luchar siempre hasta alcanzar sus sueños y que un resbalón no es una caída al contrario es un aventón para seguir con mas ánimos. GRACIAS POR TODO. LOS AMO JEFES
- ❖ A mi familia. “LA FAMILIA MORENO” en las buenas y malas siempre unidos.
  - A mis hermanos Narcisa, Gladys y Romario gracias por sus consejos e infinitos apoyo en mis locuras.
  - A mi cuñado Pablo mi otro hermano por apoyo incondicional y que siempre supo darme la mano cuando lo necesite.
  - A mis sobrinas Tania, Jessttin y Anderson por sus muestras de cariño
  - A mi tía Juanita, a Richard, Mayra y Aldahir por estar siempre conmigo.
  - A mi primo Edwin que supo ser y es mi pana y amigo
- ❖ A todas aquellas personas que de una forma u otra han confiado en mí y han contribuido con mi desarrollo profesional.

**FIDEL**

## **AGRADECIMIENTO**

- El resultado de este proyecto es por el esfuerzo de todos los que formamos el equipo de trabajo. En el término de este último proceso que exige reflexionar sobre el protagonismo mediante mi formación y ser participativo en los cambios reales del mundo, por esto agradezco a nuestros tutores el MSc. Luis Manuel y el Dr. Leonardo Aguiar Trujillo, quienes nos guiaron excelentemente en el desarrollo de este proyecto desarrollando nuestras capacidades y conocimientos.
- A mi familia por brindarme incondicionalmente su apoyo, a mis compañeros de Cuba por los excelentes momentos compartidos que el protagonismo no solo es material sino también espiritual.
- Un agradecimiento especial a esta célebre Universidad de Pinar del Río por abrirnos sus puertas del conocimiento, gracias al convenio con nuestra Universidad Técnica de Cotopaxi
- A todos gracias.

**LUIS GONZALO**



## **DEDICATORIA**

- Dedico esta tesis a Dios, quien me dio la fe, la fortaleza necesaria para salir siempre adelante pese a las dificultades, por colocarme en el mejor camino, iluminando cada paso de mi vida, por darme la salud y la esperanza para terminar este trabajo.
- A mi esposa Norma Soto por ayudarme a saber siempre que los sueños son alcanzables cuando hay amor y comprensión, por el gran apoyo emocional en los momentos más difíciles de mi carrera universitaria, por sus palabras hay que endurecerse sin perder jamás la ternura, por ser quien a pesar de la distancia y los problemas supieron confiar en mí.
- A mis hijas Isabel y Viviana por su infinito amor, por ser la fuente de mi inspiración para realizar este trabajo.
- A mi madre Mercedes Proaño por su paciencia, por su comprensión, por su empeño, por su fuerza, por su amor, por su apoyo, por ser tal y como es, porque la quiero.
- A mi padre Gonzalo Travez por su buen ejemplo de hombre sencillo, trabajador, responsable, noble y único; por la frase que un día escuche “No se vive celebrando victorias, sino superando derrotas”.
- A mis hermanos Nancy, Iván, Tania, por brindarme siempre su cariño, por el trabajo que realizamos juntos, por su espíritu de sacrificio, por su constante actitud para la construcción de mejores días.
- A mis abuelitos, tíos y primos, suegros, cuñados por compartir las alegrías, las penas y por siempre tener palabras de aliento.
- A todas las personas que han creído en mí.

**LUIS GONZALO**

## **RESUMEN**

El trabajo de investigación presentado a continuación propone el diseño de un biodigestor de tipo Chino para el aprovechamiento de las potencialidades de los residuos de tomate de la fábrica de conservas “La Conchita”

Para el análisis se tienen en cuenta las producciones de los últimos 5 años poniendo como base del año 2007 la producción de 3000 toneladas, a partir de estos datos se realiza el dimensionamiento de una planta para la producción de Biogás lo que nos permite garantizar la obtención del mismo, sin dejar de lado el impacto económico, energético y medioambiental que el proceso generará.

Para garantizar los parámetros requeridos (presión, manejo fácil, buena digestión y mantenimiento) se selecciona el biodigestor modelo Chino.

Como resultado del trabajo se obtuvo un potencial de residuos de tomate 0.49 ton/día, diseñando un biodigestor de 50 m<sup>3</sup>, de esta manera lográndose estimar una producción de biogás de 205.8 m<sup>3</sup> diarios

## **Palabras claves**

Biogás, biodigestor, residuos, biomasa

## **SUMMARY**

The investigation work presented next proposes the design of a biodigester of Chinese type for the use of the potentialities of the residuals of tomato of the factory of preserves "La Conchita"

For the analysis they are kept in mind the productions of the last 5 years putting like base of the year 2007 the production of 3000 tons, starting from these data is carried out the dimensioning of a plant for the production of Biogás what allows us to guarantee the obtaining of the same one, without leaving aside the economic, energy and environmental impact that the process will generate.

To guarantee the required parameters (pressure, handling easy, good digestion and maintenance) the Chinese model biodigester is selected.

As a result of the work a potential of residuals of tomato 0.49 ton/day was obtained, designing a biodigester of 50 m<sup>3</sup>, this way achieving you to estimate a production of biogás of 205.8 daily m<sup>3</sup>

### **Key Words:**

Biogas, bio-digester, residuals, biomass

## ÍNDICE Y TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
1. 1. ENERGÍAS ALTERNATIVAS.....	6
1.2. Tipos de fuentes de energías .....	7
1.2.1. No renovables .....	7
1.2.2. Renovables o verdes .....	7
1.3. BIOMASA .....	8
1.3.1. Clasificación de la biomasa. ....	8
1.3.2 Procesos de la conversión de la biomasa. ....	9
1.3.3. Tratamiento de residuos de vegetales en la industria.....	10
1.3.3.1. Generación de residuos orgánicos en procesos de transformación ..	11
1.3.3.2. Gestión y aprovechamiento de residuos.....	13
1.4. BIODIGESTOR.....	16
1.4.1. ¿Qué es un Biodigestor? .....	16
1.4.2. Proceso Bioquímico. (Digestión anaeróbica) .....	18
1.4.3. Condiciones para la digestión aeróbica. ....	18
1.4.4. Tipos de biodigestores.....	19
1.4.4.1. Batch o discontinuo .....	19
1.4.4.2. Semi continuo.....	20
1.4.4.3. Continuos .....	23
1.5. BIOGÁS .....	23
1.5.1. ¿Qué es el biogás?.....	23
1.5.2. Composición y características .....	24
1.5.3. Aplicaciones del biogás. ....	24
CAPÍTULO II. MÉTODOS Y MATERIALES. ....	27
2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. ....	27
2.2 Cantidad de tomates procesados en las últimas campañas. ....	29

2.2.1 Cantidad de biomasa disponible (residuo de tomate).....	30
2.2.2 Cálculo del volumen de biogás.....	31
2.3 Selección del tipo de biodigestor. ....	32
2.3.1 Cálculo del biodigestor. ....	33
2.3.2 Cálculo del volumen de la carga diaria: .....	37
2.3.3 Cálculo del volumen de la cámara de carga.....	37
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
3.1 Disponibilidad de biomasa de residuos de tomate.....	39
3.1.1 Cálculo de la cantidad de tomate en el año 2007.....	39
3.2 Cálculo de la Cantidad de biomasa disponible. ....	39
3.2.1 Cantidad de biomasa disponible según el tiempo de retención.....	40
3.2.2 Cálculo del potencial de biogás que posee la empresa.....	40
3.3 Cálculo del biodigestor.....	40
3.3.1 Cálculo del volumen del Biodigestor.....	41
3.3.2 Cálculo del volumen de la carga diaria: .....	41
3.3.3 Cálculo del radio del volumen predefinido (R): .....	41
3.3.4 Cálculo de la Unidad proporcional: .....	41
3.3.5 Cálculo de las proporciones: .....	41
3.3.6 Cálculo de los volúmenes parciales.....	42
3.3.7 Cálculo del volumen de la cámara de carga: .....	42
3.3.8 Cálculo del volumen del tanque de compensación.....	43
3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO .....	44
3.5 IMPACTO AMBIENTAL .....	47
CONCLUSIONES .....	48
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA.....	50

# INTRODUCCIÓN

El presente proyecto está desarrollado basado en el interés que se tiene por aplicar los conocimientos de ingeniería en el desarrollo inteligente de la sociedad.

Fue en la India donde se construyó la primera instalación para producir biogás, en fecha cercana al año 1900; a partir de ese momento se ha incrementado el número de biodigestores, y actualmente funcionan en ese país alrededor de doscientas mil unidades.<sup>1</sup>

Esta idea nace del interés por producir energía “limpia” teniendo como base la utilización de fuentes de energía alternas y conservación del medio ambiente.

Una fuente de energía alterna y “limpia” lo constituye la "Bioenergía". Ésta resulta ser un atractivo camino a la reutilización de desechos, lo que constituirá una necesidad mundial realmente importante en un futuro no muy lejano, en el cual se debe investigar y aprender, generando así nuevos métodos para la obtención de energías renovables a través de la generación de biomasa provenientes de la fermentación de residuos vegetales, animales y humanos, con la visión de disminuir la actual dependencia de los derivados del petróleo.

Por la preocupación de la Facultad de Geología y Mecánica, el Departamento de Mecánica de brindar a la sociedad y al país un sistema para la obtención de biogás a base de aprovechar los recursos naturales y desechos orgánicos que se producen en gran cantidad en la fábrica, se realizara el estudio de biodigestores con la finalidad de encontrar el más adecuado para cubrir necesidades de rendimiento y tiempos de producción de biogás.

Se conoce que casi tres mil millones de personas en el mundo emplean todavía la leña como fuente de energía para calentar agua y cocinar, lo que provoca, junto a

---

<sup>1</sup> <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>

otros efectos, que anualmente se pierdan en el mundo entre 16 y 20 millones de hectáreas de bosques tropicales y zonas arboladas. En respuesta a esta situación surgen varias alternativas para llevar a cabo la cocción de alimentos, que tienen bajo impacto ambiental y su fuente de energía es considerada renovable, una de ellas resulta la producción de biogás a partir de la fermentación de la materia orgánica.

## **Valorización de los residuos industriales de tomate**

Los residuos que se generan en las industrias transformadoras de tomate pueden ser valorizados dando lugar a diferentes productos con usos varios, de esta manera un subproducto que podría generar problemas medioambientales se puede convertir en licopeno, pienso de animales, combustible para calderas o biogás.

El consumo del tomate está extendido por todo el mundo, cultivándose en más de cien países, aunque sólo 10 de ellos cruce el 80 % del total, entre los que se encuentran China, EEUU y España (FAO).

El tomate lo podemos consumir crudo o procesado de distintas maneras: pelado, triturado, en zumo, salsa, kétchup, etc.

Además este tipo de residuos se genera en una época determinada justo después de la finalización de la recogida del tomate, lo que hace que en poco tiempo se obtengan grandes cantidades en sitios concretos, las procesadoras. Y esto añadido al alto contenido en humedad del residuo, alrededor del 70% (caracterización en laboratorio), hace que se dificulte su almacenamiento y que puedan favorecerse procesos de fermentación.

A estos residuos biomásicos se le pueden dar distintos usos, después de pretratarlo y /o someterlos a distintas tecnologías, obteniendo productos con valor comercial.

### ✓ **Combustible para calderas**

Los residuos de tomate industrial tienen que ser secados previamente, ya sea mediante el método tradicional de secado natural, o secado térmico mediante secaderos biomásicos.

Estos residuos una vez secos tienen un alto poder calorífico (PCS alrededor de 25 MJ/kg, caracterización en laboratorio) y pueden utilizarse como combustible en calderas de biomasa, para generar calefacción y agua caliente ya sea a nivel industrial, para comunidades de vecinos o usada en edificios públicos<sup>2</sup>

Además su nivel de cenizas y azufre es bajo por lo que no generan demasiados problemas en el proceso de combustión.

Aunque en este caso hay que estudiar los costes de pretratamiento de residuo y transporte de la biomasa para comprobar su rentabilidad económica.

También se puede dar una mayor estabilidad al producto, mediante la fabricación de pélets a partir de estos residuos. Éstos tienen un valor comercial añadido y son más fáciles de transportar y almacenar, aunque también son más caros.

### ✓ **Gasificación**

Hay múltiples posibilidades para que a partir de este desecho se puedan generar una serie de productos con valor comercial y utilidad.

En los últimos tiempos se están probando ensayos para llevar a cabo gasificación con residuos industriales de tomate. La gasificación puede definirse como un proceso de combustión incompleta en el que se obtiene un gas combustible como producto principal. Si el oxidante utilizado es aire, se genera “gas pobre”, gas con un bajo poder calorífico (4-7 MJ/m<sup>3</sup>), mientras que si se utiliza oxígeno o vapor de agua se produce “gas de síntesis” con un poder calórico mayor (10-18 MJ/m<sup>3</sup>).

Los gases producidos en el proceso de gasificación tienen una gran versatilidad ya que se puede aprovechar la energía que contiene en forma de calor, electricidad o como gas de síntesis para la obtención de productos químicos.

---

<sup>2</sup> <http://www.ambientum.com/revistaecotimesabril>



### ✓ **Digestión anaerobia: biogás**

Si estos residuos no se valorizaran, terminarían dando lugar a problemas medioambientales como malos olores, contaminación de aguas o fomento de plagas.

La digestión anaerobia es un proceso en el cual el material biodegradable es descompuesto por microorganismos en ausencia de oxígeno. El proceso se realiza en un Biodigestor, contenedor hermético en el que se introduce la dilución del residuo y los microorganismos. Para conseguir condiciones óptimas se deben controlar ciertas condiciones como pH y alcalinidad, potencial redox, nutrientes, temperatura y estabilidad.

El producto resultante está formado por metano ( $\text{CH}_4$ ) en su mayor parte (más del 60 %), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), es conocida como biogás y tiene gran poder calorífico, por lo que es utilizado como biocombustible.

Los residuos industriales de tomate son ideales para producir co-digestión con otros residuos orgánicos como son los purines de cerdo, que por su composición tienen limitaciones para usarse en solitario.

En la fábrica de conservas y vegetales de la ciudad de Pinar del Río se procesan grandes volúmenes de tomates, que generan potenciales cantidades de residuos, los cuales se pudiera analizar su uso energético.

## **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

- **Problema:**

No está demostrada la factibilidad del empleo energético, de los residuos de tomates, a partir de la generación de biogás en la fábrica de conservas y vegetales “La Conchita”.

- **Hipótesis:**

Si se cuenta con una metodología para la producción del Biogás a partir los volúmenes de residuos de tomate existente en la fábrica de conservas y vegetales “La Conchita”, así como una valoración económica y ambiental de esta propuesta tecnológica entonces se podrá demostrar la factibilidad del empleo

energético, de los residuos de tomate, a partir de la generación de biogás para potencializar los mismos en la fábrica de conservas “La Conchita”.

- **Objeto:**

Los residuos de tomate de la fábrica de conservas y vegetales “La Conchita”

- **Campo de acción:**

Tecnología de la producción de biogás.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo General.**

- Demostrar la factibilidad del empleo energético, de los residuos de tomate, a partir de la generación de biogás para potencializar los mismos en la fábrica de conservas “La Conchita”

### **Objetivos Específicos.**

- Hacer una valoración del aprovechamiento de los residuos de tomate que se generan en la fábrica “La Conchita” para la obtención de biogás.
- Evaluar la cantidad de desechos orgánicos vegetales que se generan en la fábrica para calcular la cantidad de gas a obtener.
- Elegir el tipo de Biodigestor más recomendable que permita optimizar la biodegradación de los residuos de tomate.
- Diseñar el Biodigestor seleccionado.

## **ALCANCE**

Con esta investigación se propone diseñar un Biodigestor acorde a las necesidades de la empresa, que permita la utilización de los desechos orgánicos de tomate para aprovechar sus potencialidades a su vez ayudar al medio ambiente.

# CAPÍTULO I REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

## 1. 1. ENERGÍAS ALTERNATIVAS.

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales.<sup>3</sup>

- Son recursos que se encuentran muy bien distribuidos por todo el planeta, lo que garantiza el suministro autóctono.
- Los procesos tecnológicos asociados a su aprovechamiento son relativamente sencillos, lo que proporciona su accesibilidad.
- Tiene un reducido impacto ambiental.
- Tienen bajo coste de operación.

Son por tanto un elemento clave para evitar tres de los grandes problemas del actual sistema energético:

1. Contaminación ambiental.
2. Agotamiento de recursos.
3. Modelos de desarrollo muy centralizado.

Especialmente las tres primeras características las convierte además en una posibilidad importante para el desarrollo regional y generación de empleo, incluso en países y regiones sin gran nivel tecnológico.

Se espera que el gas natural se convierta en la segunda fuente de energía después del petróleo. La demanda de gas natural también aumentará en las regiones del mundo, algunas de ellas cuentan con reservas limitadas o decrecientes de gas y se convertirán en importadores netos, provocando con ello importantes cambios en los modelos del comercio mundial del gas<sup>4</sup>.

Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas, es inevitable que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema

---

<sup>3</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)

<sup>4</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)

colapse, salvo que se descubran y desarrollen otros nuevos métodos para obtener energía: éstas serían las energías alternativas.

En conjunto con lo anterior se tiene también que el abuso de las energías da como resultado la contaminación, el aumento de los gases invernadero y la perforación de la capa de ozono.

## **1.2. Tipos de fuentes de energías**

Las fuentes de energía se pueden dividir en dos grandes grupos: permanentes (renovables) y temporales (no renovables).

### **1.2.1. No renovables**

Los combustibles fósiles son recursos no renovables: no podemos reponer lo que gastamos. En algún momento, se acabarán, y tal vez sea necesario disponer de millones de años de evolución similar para contar nuevamente con ellos. Son aquellas cuyas reservas son limitadas y se agotan con el uso. Las principales son la energía nuclear y los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón). Los combustibles fósiles se pueden utilizar en forma sólida (carbón), líquida (petróleo) o gaseosa (gas natural). Son acumulaciones de seres vivos que vivieron hace millones de años y que se han fosilizado formando carbón o hidrocarburos. En el caso del carbón se trata de bosques de zonas pantanosas, y en el caso del petróleo y el gas natural de grandes masas de plancton marino acumuladas en el fondo del mar.

### **1.2.2. Renovables o verdes**

Energía verde es un término que describe la energía generada a partir de fuentes de energía primaria respetuosas con el medio ambiente. Las energías verdes son energías renovables que no contaminan, es decir, cuyo modo de obtención o uso no emite subproductos que puedan incidir negativamente en el medio ambiente. Estas energías se enumeran a continuación:

- ✓ Energía hidráulica
- ✓ Energía solar térmica
- ✓ Energía solar

- ✓ Energía eólica
- ✓ Energía geotérmica
- ✓ Energía mareomotriz
- ✓ Energía Biomasa

### **1.3. BIOMASA**

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz, etc.), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros) <sup>5</sup>

#### **1.3.1. Clasificación de la biomasa.**

La biomasa, como recurso energético, puede clasificarse en biomasa natural, residual y los cultivos energéticos.

##### **✓ La biomasa o natural.**

Es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana. Por ejemplo, las podas naturales de los bosques, es decir es la materia total de los seres que viven en un lugar determinado, expresada en peso por unidad de área o de volumen.

##### **✓ La biomasa o residual.**

Es el subproducto o residuo generado en las actividades agrícolas (poda, rastrojos, etc.), silvícolas y ganaderas, así como residuos de la industria agroalimentaria (alpechines, bagazos, cáscaras, vinazas, etc.) y en la industria de transformación de la madera (aserraderos, fábricas de papel, muebles, etc.), así como residuos de depuradoras y el reciclado de aceites.

---

<sup>5</sup> <http://www.clavis.es/entidad/inice/Per/BioMa/B00.htm>

### ✓ Los cultivos energéticos.

Son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para producción de bioetanol y oleaginosas para producción de biodiesel).

#### 1.3.2 Procesos de la conversión de la biomasa.

En la **Tabla 1**. Se muestra una distribución de los procesos de conversión aplicables, de acuerdo con las características y el tipo de biomasa, así como los posibles usos finales de la energía convertida. <sup>6</sup>

**Tabla 1:** Procesos de conversión de biomasa en energía

Tipo de biomasa	Características físicas	Procesos de conversión	Producto final	Usos
Materiales orgánicos de alto contenido de humedad.	Estiércoles. Residuos de alimentos. Efluentes industriales. Residuos urbanos.	Digestión anaeróbica y fermentación alcohólica.	Biogás. Metanol. Etanol. Biodiesel.	Motores de combustión. Turbinas de gas. Hornos y calderas. Estufas domesticas.
Materiales lignocelulosicos (cultivos energéticos, residuos forestales de cosechas y urbanos).	Polvo. Astillas. Pellets. Briquetas. Leños. Carbón. Vegetal.	Densificación. Combustión directa, Pirolisis. Gasificación.	Calor. Gas pobre. Hidrógeno. Biodiesel.	Estufas domesticas. Hornos y calderas. Motores de combustión. Turbinas de gas.

Fuente: <http://www.conae.gob.mx/renovables/biomasa.htm>

<sup>6</sup> <http://www.conae.gob.mx/renovables/biomasa.htm>

### 1.3.3. Tratamiento de residuos de vegetales en la industria

Una parte importante de los residuos que se generan en la industria de transformados vegetales está constituida por la fracción orgánica sólida derivada del tratamiento previo de las materias primas vegetales. En la actualidad esta fracción de sólidos orgánicos se emplea en parte como alimentación animal, una pequeña proporción se destina a otras aplicaciones (ej. combustible) y el resto de la materia no empleada constituye un residuo destinado a vertedero. El envío de esta materia orgánica a vertedero supone una pérdida de recursos puesto que puede ser un subproducto aprovechable en otros procesos como son: compostaje, metanización.<sup>7</sup>

El reciclaje de los residuos sólidos orgánicos por cualquiera de las vías mencionadas se ve favorecido, entre otros, por el hecho de que las empresas generadoras normalmente están concentradas en determinadas zonas geográficas y podría aplicarse medidas conjuntas de aprovechamiento de los residuos.

Las principales actividades que se incluyen dentro del sector son la fabricación de:

- ✓ Conservas vegetales.
- ✓ Congelados vegetales.
- ✓ Zumos y concentrados vegetales.

La industria de transformados vegetales tiene unas características específicas propias que la diferencian de otros sectores de actividad:

- ✓ Por norma general las industrias del sector se localizan cerca de las áreas productoras.
- ✓ La actividad industrial normalmente no es continua, sino que se trabaja por campañas, debido a los ciclos de crecimiento y maduración de los productos agrícolas.

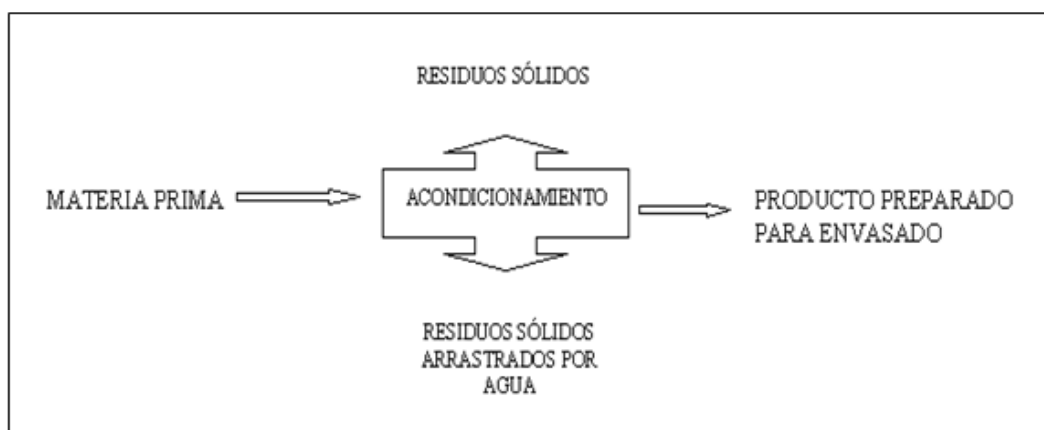
---

<sup>7</sup> · CEIN (1998). Informes Sectoriales. Conservas de Frutas y Hortalizas, 23, CEIN, S.A.

- ✓ La industria de transformados vegetales procesa una gran variedad de materias primas que requieren diferentes procesos de fabricación.
- ✓ Los agentes industriales del sector de transformados de frutas y hortalizas son de tamaño pequeño y mediano en su mayoría.

#### 1.3.3.1. Generación de residuos orgánicos en procesos de transformación.

Las primeras operaciones de los procesos de elaboración de transformados vegetales son etapas de acondicionamiento de materia prima en la que se generan las mayores cantidades de residuos sólidos orgánicos. La cantidad total de residuos orgánicos será la suma de residuos sólidos (en seco) y residuos sólidos arrastrados por agua como se puede observar en la **Figura 1**.



Fuente: Centro Técnico Nacional de Conservas Vegetales – Laboratorio del Ebro

**Figura 1.** Residuos generados en transformados vegetales

El porcentaje de residuos generado en la elaboración de transformados vegetales es muy variable ya que está determinado por diversos factores. El principal es el tipo de materia prima a procesar, los vegetales destinados a transformación son muy diferentes en tamaño, forma, partes aprovechables, lo que implica que los niveles de residuos sean distintos en cada caso. En la **Tabla 2**. Se presentan valores aproximados de los porcentajes de residuos generados en función de la materia prima procesada. El porcentaje de residuos puede oscilar desde valores muy elevados como en el caso del cardo con un 65 %, hasta valores inferiores como en el tomate con un 15 %.



**Tabla 2.-** Residuos generados (%) en fabricación de vegetales en conserva

PRODUCTO	TIPO DE RESIDUOS	FECHAS FABRICACIÓN	% RESIDUOS TOTAL
Tomate	Pieles, pepitas, podrido	Agosto - Septiembre	15
Pimiento piquillo	Corazones, restos piel	Septiembre - Diciembre	53
Pimiento morrón	Corazones, restos piel	Septiembre - Diciembre	63
Espárrago	Pieles	Abril - Junio	51
Alcachofa	Brácteas, tallos	Abril - Junio	63
Judía verde	Puntas	Julio - Septiembre	28
Champiñón	Cortes de raíz, dextrío	Octubre - Junio	21
Puerro*	Hojas, raíces	Noviembre - Marzo	47
Brotes de ajo	Partes blancas	Junio - Agosto	17
Borraja*	Hojas	Noviembre - Febrero	28
Cardo*	Pencas, hojas, corazón	Diciembre - Marzo	65
Acelga *	Pencas, hojas	Diciembre - Marzo	48
Espinaca	Hojas secas, amarillas		13
Melocotón	Pieles, huesos	Julio - Septiembre	25
Ciruela y albaricoque	Pieles, huesos	Julio - Septiembre	10

Fuente: Centro Técnico Nacional de Conservas Vegetales – Laboratorio del Ebro

Además, es importante tener en cuenta que dentro de cada producto elaborado existen otras variables que influyen en la producción de residuos como:

- ✓ Calidad de la materia prima (ej. frutos dañados, podridos, madurez excesiva o insuficiente), que a su vez dependerá de la climatología, variedad, sistema de recolección.
- ✓ Calidad deseable en el producto final: la obtención de calidades óptimas de producto final requiere selecciones de materia prima más rigurosas que aumentan el porcentaje de residuos orgánicos.
- ✓ Tecnología de fabricación empleada.

Dentro de los porcentajes de residuos totales indicados en la tabla 2, hay una parte de ellos que son arrastrados con el agua empleada en las diferentes operaciones del proceso de elaboración.

Como puede observarse (**Tabla 3**), la proporción de residuos en el agua es muy baja respecto al total de sólidos.

**Tabla 3.** Residuos generados (%) en fabricación de vegetales en conserva: residuos en seco y residuos arrastrados por agua

PRODUCTO	% RESIDUOS TOTAL	% RESIDUOS AGUA	% RES. SOL. EN SECO
Tomate	15	0,30	14,70
Pimiento piquillo	53	0,37	52,63
Pimiento morrón	63	0,18	61,17
Espárrago	51	0,42	50,58
Alcachofa	63	0,14	62,86
Judía verde	28	0,27	25,25

Fuente: Centro Técnico Nacional de Conservas Vegetales – Laboratorio del Ebro

### 1.3.3.2. Gestión y aprovechamiento de residuos.

Los residuos sólidos orgánicos producidos en la transformación de vegetales, en algunos casos pueden considerarse como subproductos si bien son aprovechables para elaboración de otros productos como en el caso del espárrago y el puerro en los que a partir del proceso principal de obtención de producto entero se obtiene subproducto destinado a fabricación de tallos en conserva o congelados, productos deshidratados, etc.

Se puede considerar subproducto a todo producto no principal obtenido en un determinado proceso y que tiene o puede tener determinadas aplicaciones o aprovechamientos, de forma que lo que para una industria es un subproducto para otra puede constituir la materia prima, obteniendo a su vez un producto principal y otro nuevo subproducto.<sup>8</sup>

Actualmente, en la industria de transformados vegetales los principales destinos de los residuos sólidos orgánicos generados en sus procesos son:

- ✓ Alimentación animal: gran parte de los residuos orgánicos vegetales sólidos se destinan para alimentación animal, especialmente para bovino y ovino. Se utiliza principalmente para vacas, animales jóvenes, y ganadería brava.
- ✓ Los residuos de transformados vegetales tienen un alto contenido en humedad lo que implica dificultades para el almacenamiento, el consumo debe ser rápido con el fin de evitar problemas de fermentación.

<sup>8</sup> Fonolla, J., Boza, J.A. (1993) Utilización de los residuos del espárrago, procedentes de la industria conservera en la alimentación de rumiantes. Avances

- ✓ Por otro lado el transporte del subproducto con niveles de humedad elevados, aumenta el coste del mismo.

- **Alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la industria de transformados vegetales**

Como se ha indicado anteriormente la mayor parte de los residuos generados en la transformación de vegetales se destina a alimentación para ganado. Sin embargo existe una fracción importante que va a vertedero, y contribuye a aumentar el problema existente de falta de espacio. Para contribuir a la sostenibilidad del medio y satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras, se hace necesario recuperar en lo posible estos residuos.

- **Producción de compost**

El compost, es el producto final obtenido mediante un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, en condiciones controladas de humedad y temperatura, que oscila entre 50 °C y 70 °C, provocando, así, la destrucción de elementos patógenos y por tanto la total inocuidad del producto.

Uno de los tipos de compost más conocidos es el producido a partir de Residuos Sólidos Urbanos: se realiza un aprovechamiento de la fracción orgánica fermentable separándola de los materiales no deseables, materiales cuya degradación biológica es difícil (plásticos, vidrio, etc.) y materiales que pueden aportar elementos tóxicos (metales férricos y no férricos, productos químicos, etc.) cuya asimilación por parte del cultivo receptor represente un riesgo potencial para a salud. Esta condición la cumplen los residuos generados en la transformación de vegetales puesto que se pueden separar totalmente y con facilidad los residuos orgánicos del resto, este tipo de residuos pueden considerarse aptos y deseables para compostar.

- **Obtención de productos de mayor valor añadido**

Existe una gran variedad de procesos aerobios y anaerobios de interés industrial en los que se tratan diferentes sustratos con diversas especies de microorganismos, tanto en cultivos puros como poblaciones mezcladas. Entre

ellos destacan la digestión anaerobia para la producción de biogás y la fermentación alcohólica para obtener bioalcohol

- **Producción de metano**

La fracción de residuos de transformados vegetales que se deposita en vertedero es susceptible de someterse a tratamiento con el resto de residuos urbanos para la obtención de metano. Se llama metanización de residuos sólidos al proceso de fermentación anaeróbica de los componentes orgánicos de los mismos. Dicha fermentación es producida por bacterias que se desarrollan en ambientes carentes de oxígeno. Durante el proceso de transformación de la materia orgánica (digestión) dichas bacterias producen un gas denominado por su origen "biogás", el cual se compone fundamentalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Los porcentajes de participación de estos gases son variables y dependen de las condiciones físico-químicas en que se desarrolla la digestión de la materia prima. El metano se puede utilizar en la producción de energía eléctrica y de energía térmica.<sup>9</sup>

La tecnología anaerobia aplicada a la biometanización de los residuos sólidos urbanos es una tecnología madura con posibilidad de ser aplicada a cualquier tipo de fracción orgánica independientemente de su origen (forma de selección) o de su grado de humedad. La biometanización se aplica generalmente seguida de un proceso de compostaje, dado que el residuo una vez digerido, no posee las características idóneas para ser utilizado en agricultura

- **Obtención de bioalcohol**

La obtención de etanol por fermentación alcohólica, ha cobrado interés debido a la posibilidad de utilizar alcohol como combustible. La fermentación alcohólica se lleva a cabo por numerosos microorganismos anaerobios o aerobios facultativos a partir de azúcares presentes en las distintas formas de biomasa. Estos azúcares se pueden encontrar en forma de polímeros: almidón y celulosa

Los residuos producidos por la industria de conservas vegetales, por su contenido en celulosa, pueden utilizarse como fuente de energía renovable, evitando así su

---

<sup>9</sup> Costa F., García C., Hernández T., Polo A. (1991). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC.

acumulación. La fracción celulósica de los residuos, se transforman mediante hidrólisis en glucosa, que por fermentación se convierte en combustible (etanol)

- **Otros usos específicos del subproducto de la industria de transformados vegetales orientados a la producción de sustancias de alto valor añadido.**

Dentro de las materias primas de la industria alimentaria, las frutas y vegetales se caracterizan por ser las que mayores residuos generan. Como ya se ha indicado, tradicionalmente su uso más frecuente ha sido y sigue siendo la alimentación animal. Sin embargo, estos subproductos contienen valiosas sustancias como: azúcares, ácidos orgánicos, sustancias colorantes, proteínas, aceites y vitaminas, entre otras que pueden ser de interés en las industrias: alimentaria, farmacéutica, química y cosmética, fundamentalmente.<sup>10</sup>

Durante las últimas décadas ha aumentado la industrialización de subproductos de cítricos, orientada esta hacia:

- ❖ Aprovechamiento de la pulpa para mejorar el aroma y la sensación bucal de zumos reconstituidos.
- ❖ Aprovechamiento de las cortezas de cítricos como ingredientes de piensos para alimentación animal.
- ❖ Extracción de aceites esenciales del flavedo, empleados para aromatizar.
- ❖ Extracción de terpenos que tienen numerosas aplicaciones en la industria química.

## **1.4. BIODIGESTOR.**

### **1.4.1. ¿Qué es un Biodigestor?**

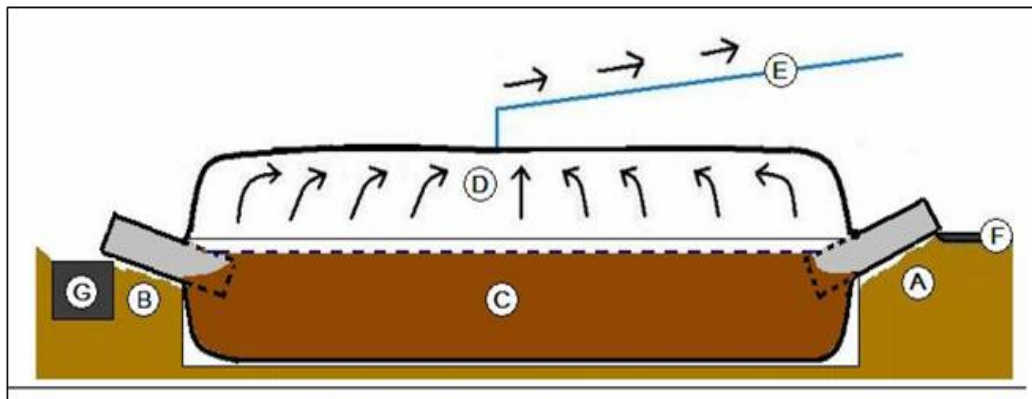
Un digestor de desechos orgánicos o Biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales-no se incluyen cítricos ya que acidifican-, etcétera)

---

<sup>10</sup> Cohn, R., Cohn, A.R. (1996). Subproductos del procesado de cítricos. Procesado de frutas, D. Arthey y P.R. Ashurst, Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, 213-239.

en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.<sup>11</sup>

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de hidropresión y postratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. En la **Figura 2** se detalla el perfil de un Biodigestor para tener una idea básica de su concepto.



**Figura 2.** Biodigestor Básico

Fuente: CEDECAP, abril de 2007 (JR.)

A: Tubería de entrada del Biodigestor.

B: Tubería de salida del Biodigestor

C: Tanque donde se va a digerir la mezcla de agua y estiércol.

D: Cámara de colección de gas.

E: Tubería de salida del gas.

F: Recipiente de entrada para la carga

G: Recipiente de recolección de Biol.

El fenómeno de biodigestión ocurre porque existe un grupo de microorganismos bacterianos anaeróbicos presentes en el material fecal que, al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal y animal, producen una mezcla de gases con alto contenido de metano ( $\text{CH}_4$ ) llamada biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible. Como resultado de este proceso genera residuos con un alto grado de concentración de nutrientes y materia orgánica (ideales como

<sup>11</sup> <http://es.wikipedia.org/wiki/Biodigestor>

fertilizantes) que pueden ser aplicados frescos, pues el tratamiento anaerobio elimina los malos olores y la proliferación de moscas.

Se deben controlar ciertas condiciones pH, presión y temperatura a fin de que se pueda obtener un óptimo rendimiento.

El Biodigestor es un sistema sencillo de implementar con materiales económicos y se está introduciendo en comunidades rurales aisladas y de países subdesarrollados para obtener el doble beneficio de conseguir solventar la problemática energética-ambiental, así como realizar un adecuado manejo de los residuos tanto humanos como animales

#### **1.4.2. Proceso Bioquímico. (Digestión anaeróbica)<sup>12</sup>**

La materia orgánica contenida en los desechos, bajo ciertas condiciones, es posible que sea tratada biológicamente por acción de microorganismos, en recipientes herméticamente sellados.

Este es un proceso de fermentación en ausencia de oxígeno, donde se genera una mezcla de gases que, en su conjunto, reciben el nombre de biogás.

Básicamente, el proceso considera tres etapas:

- ✓ Hidrólisis, etapa en la que los polisacáridos (celulosa, almidón, etc.), los lípidos (grasas) y las proteínas, son reducidas a moléculas más simples;
- ✓ Acido génesis, etapa en que los productos formados anteriormente son transformados principalmente en ácido acético, hidrógeno y CO<sub>2</sub>;
- ✓ Metanogénesis, los productos resultantes de esta etapa son metano CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>, principalmente.

#### **1.4.3. Condiciones para la digestión anaeróbica.**

Considerando que las bacterias son el ingrediente esencial del proceso, es necesario mantenerlas en condiciones que permitan asegurar y optimizar su ciclo biológico. Los principales parámetros que influyen en la producción de biogás son:

---

<sup>12</sup> FAO 1997; Reunión Regional sobre Biomasa para la producción de energía y alimentos: Aprovechamiento de Desechos Agropecuarios para la Producción de Energía; Daniel Alkalay Universidad Técnica Federico Santa María- Chile.

- ✓ Temperatura entre los 20 °C y 60 °C
- ✓ pH (nivel de acidez/ alcalinidad) alrededor de siete.
- ✓ Ausencia de oxígeno.
- ✓ Gran nivel de humedad.
- ✓ Materia orgánica
- ✓ Que la materia prima se encuentra en trozo más pequeños posible.
- ✓ Equilibrio de carbono/nitrógeno
- ✓ Agitación

#### **1.4.4. Tipos de biodigestores.**

De acuerdo a la frecuencia de cargado, los sistemas de Biodigestión se pueden clasificar en:

- ✓ Batch o discontinuo
- ✓ Semi continuos
- ✓ Continuos

##### **1.4.4.1. Batch o discontinuo**

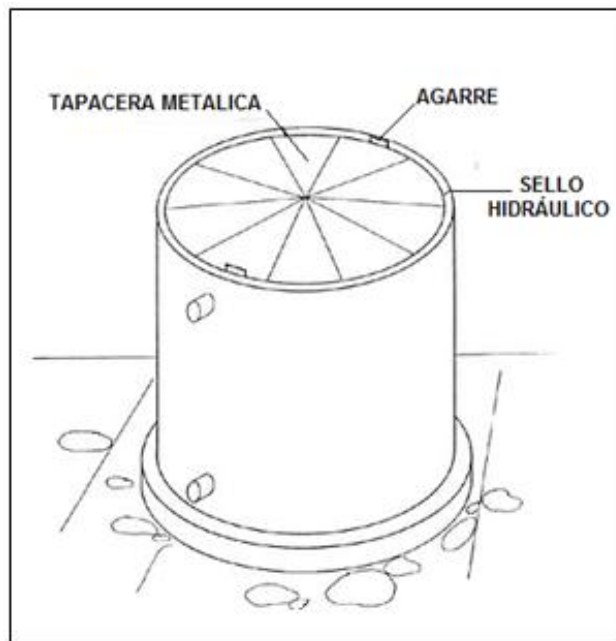
##### **Sistema Batch o discontinuo:**

Este tipo de digestor como se muestra en la (Figura 3) se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás.

Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. En este tipo de sistemas se usa una batería de digestores que se cargan a diferentes tiempos para que la producción de biogás sea constante.

De los sistemas Batch, el más usado es el OLADEGUATEMALA, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,5 a 1,0 m<sup>3</sup> biogás/m<sup>3</sup> digestor.





**Figura 3.** Biodigestor Batch

Fuente: [http:// www.solucionespracticas.org.pe](http://www.solucionespracticas.org.pe)

#### **1.4.4.2. Semi continuo**

##### **Sistemas Semi-continuos:**

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino

##### **✓ Biodigestor de campana flotante (Tipo Hindú).**

Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se amacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm., de columna de agua. Por lo general el volumen del gasómetro es del orden de 1/3 del biogás generado al día.

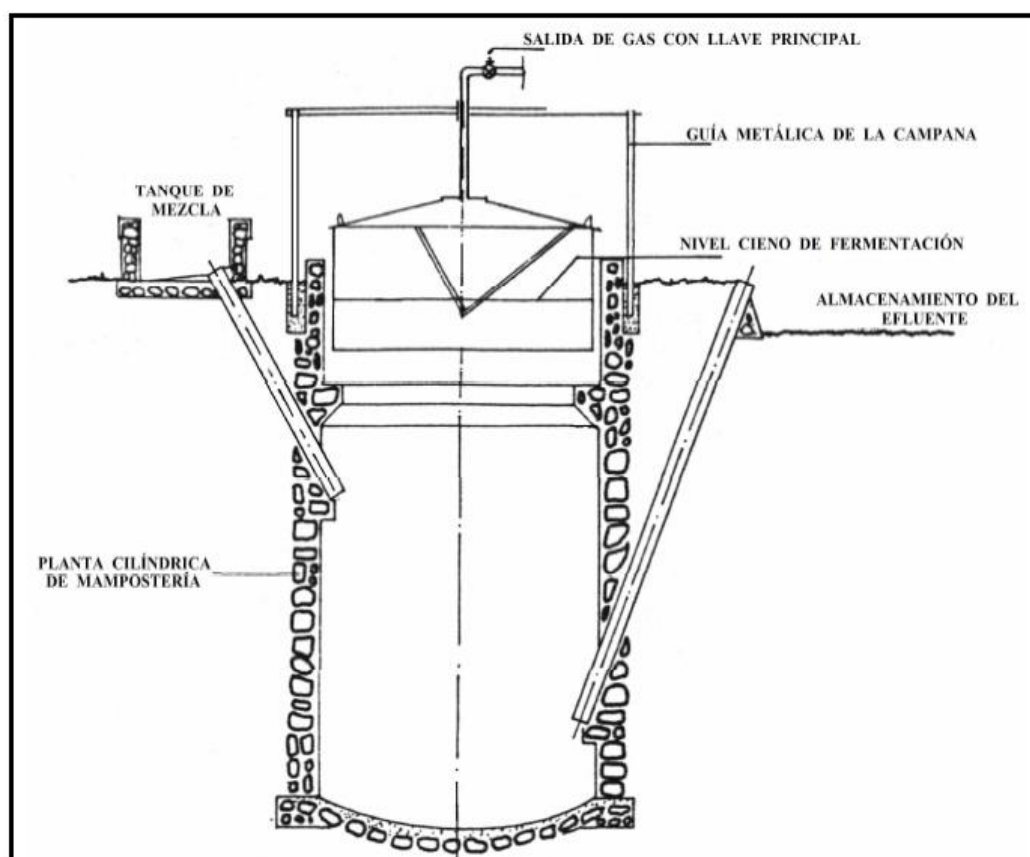
Este tipo de digestores (Figura 4) presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más.

Las ventajas y desventajas de este biodigestor aparecen en la Tabla 4.

**Tabla 4:** Ventajas y desventajas de un Biodigestor de campana flotante.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Trabaja a una presión constante</li> <li>✓ Se puede determinar con facilidad la cantidad de gas observando el nivel de la campana</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La campana si no es de acero inoxidable, está expuesta a corrosión.</li> <li>✓ Los costos de construcción y mantenimiento de la campana son altos, si ésta es metálica.</li> </ul>

Fuente: <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>



**Figura 4.** Biodigestor de campana flotante

Fuente: <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>

- **Biodigestor de campana fija (Tipo Chino).**

En lo que respecta a los digestores tipo chino, estos son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados y no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema. (Figura 5)

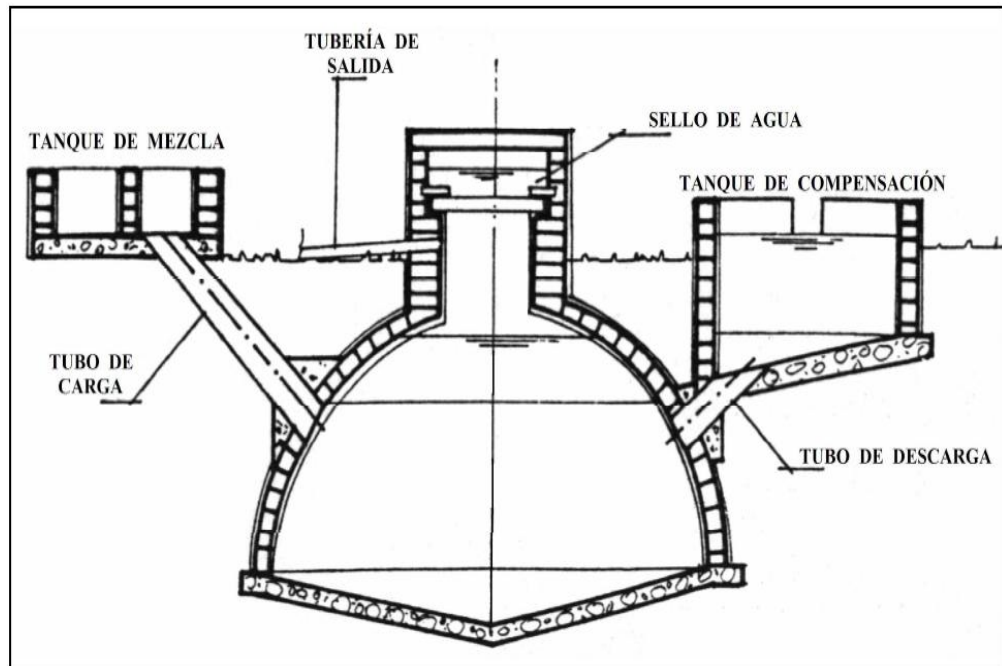
A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo de la planta, aumenta su presión, forzando al líquido en los tubos de entrada y salida a subir, y llegándose a alcanzar presiones internas de hasta más de 100 cm., de columna de agua. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,1 a 0,4 m<sup>3</sup> de biogás/m<sup>3</sup> de digestor.

A pesar de que el digestor tipo chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general extensos. Las ventajas y desventajas de este biodigestor aparecen en la

**Tabla 5:** Ventajas y desventajas de un Biodigestor de campana fija.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Se emplean materiales convencionales como ladrillo, bloque, cemento, etc.</li> <li>✓ No hay partes metálicas sujetas a corrosión</li> <li>✓ Con un buen mantenimiento puede tener una vida útil de hasta 20 años.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ La presión de gas no es constante, esto afecta a la eficiencia de los equipos y en ciertas ocasiones puede ser la causa de fugas en el Biodigestor debido a los esfuerzos cíclicos que se presentan en las paredes del Biodigestor</li> <li>✓ Debido a su principio de funcionamiento, la cúpula debe ser hermética, lo que requiere una construcción compleja.</li> <li>✓ Los costos de impermeabilización son altos</li> </ul>

Fuente: <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>



**Figura 5.** Biodigestor de campana fija.

Fuente: <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>

#### **1.4.4.3. Continuos**

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales.

### **1.5. BIOGÁS**

#### **1.5.1. ¿Qué es el biogás?**

Término que se aplica a la mezcla de gases que se obtienen a partir de la descomposición en un ambiente anaerobio (sin oxígeno) de los residuos

orgánicos, como la boñiga, el estiércol animal, o la combinación de ambos productos y desechos de los vegetales.<sup>13</sup>

### 1.5.2. Composición y características.

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH<sub>4</sub>), en una proporción que oscila entre un 60% a un 65% y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno. Sus características han sido resumidas en la **Tabla 6**.

**Tabla 6:** Características del biogás

Características	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S	OTROS	BIOGÁS 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico MJ/m <sup>3</sup> Kcal/m <sup>3</sup>	35.8 8600	-- --	10.8 2581	22 5258	21.5 5140
Ignición % en el aire	5-15	--	--	--	6-12
Temp. Ignición (°C)	650-750	--	--	--	650-750
Presión crítica (MPa)	4.7	7.5	1.2	8.9	7.5-8.9
Densidad nominal (g/l)	0.7	1.9	0.08	--	1.2
Densidad relativa	0.55	2.5	0.07	1.2	0.83
Inflamabilidad Vol. % en aire	5-15	--	--	--	6-12

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>

### 1.5.3. Aplicaciones del biogás.

En la **Tabla 7** se han listado los principales artefactos que utilizan biogás, su consumo medio y su eficiencia.

**Tabla 7:** Aplicaciones del biogás.

ARTEFACTO	CONSUMO MEDIO	RENDIMIENTO (%)
Quemador de cocina	300-600 l/h	50 – 60
Lámpara (60W)	120-170 l/h	30 – 50
Heladera de 100 L	30-75 l/h	20 – 30
Motor a gas	0.5 m <sup>3</sup> /kWh	25 – 30
Quemador de 10 kW	2 m <sup>3</sup> /h	80 – 90
Infrarrojo de 200 W	30 l/h	95 – 99
Cogenerador	1 kW elect. 0.5 m <sup>3</sup> /kWh: 2 kW térmica	hasta 90

Fuente: <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas/usos>

<sup>13</sup> <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia22/HTML/articulo04.htm>

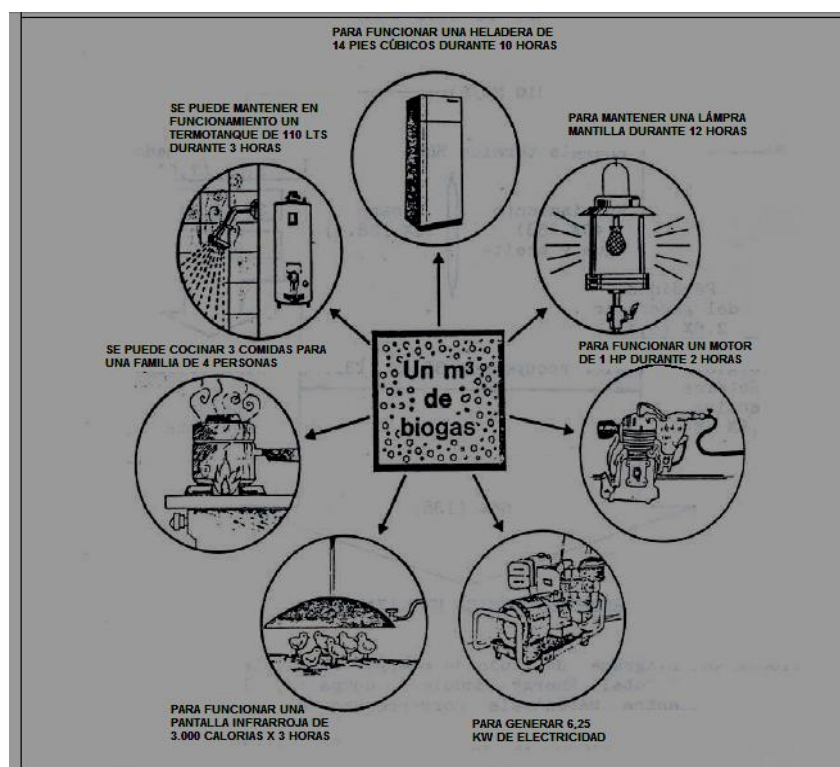
El biogás puede ser utilizado igualmente como combustible en quemadores para la calefacción de pollitos y otros animales recién nacidos, para la iluminación mediante lámparas incandescentes, que no requieren del gas a presión.

Se puede utilizar además como segundo combustible en motores de explosión estacionarios o móviles cuya ignición se hace con diesel o gasolina y una vez en movimiento se reduce el ingreso del combustible inicial al 15 % y se introduce el biogás en un 85 % a través del purificador de aire o directamente dentro de la cámara de cada inyector.

Un metro cúbico de biogás totalmente combustionado es suficiente para:

- ❖ Generar 1.25 kW/h de electricidad.
- ❖ Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 Watt.
- ❖ Poner a funcionar un refrigerador de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 1 hora.
- ❖ Hacer funcionar una incubadora de 1 m<sup>3</sup> de capacidad durante 30 minutos.
- ❖ Hacer funcionar un motor de 1 HP durante 2 horas

En la **Figura 6**, se muestran distintas alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás, con sus respectivos consumos.



**Figura 6:** Alternativas de utilización de un metro cúbico de biogás

Fuente: <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biogas-beneficios-economicos-utilizando>

En la **Tabla 8** se observa los tipos de residuos orgánicos y el volumen de biogás que se obtiene en m<sup>3</sup>/kg

**Tabla 8:** Como ejemplos en la generación de volúmenes de biogás con diferentes tipos de residuos orgánicos.

TIPOS DE RESIDUOS ORGÁNICOS	VOLUMEN DE BIOGÁS [m <sup>3</sup> /kg MS]
Residuos de matadero y de la transformación de pescado	0,34 a 0,71
Residuos "verdes" de jardinería y agrícola	0,35 a 0,46
Residuos alimenticios	0,32 a 0,80
Residuos de la transformación de papa y cereales	aprox. 0,48
Residuos orgánicos domésticos	0,40 a 0,58
Residuos de separadores de grasa	0,70 a 1,30
Purinas agrícolas	0,22 a 0,55
Lodos de procesos de purificación	0,45 a 0,55

Fuente: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/1/Pedr141.htm>.

## **CAPÍTULO II. MÉTODOS Y MATERIALES.**

El objetivo de este capítulo es de realizar los cálculos y actividades necesarios para tener una idea clara del tamaño y forma del Biodigestor necesitado, conociendo el lugar donde va a estar ubicado y en función al material orgánico que se dispone a ser tratado, de esta manera se podrá seleccionar el Biodigestor más adecuado para la obtención de biogás en la Empresa de Conservas de Vegetales “La Conchita”.

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

#### **✓ *Fábrica de Conservas de Vegetales “La Conchita” de Pinar del Río.***

La Fábrica La Conchita se fundó en el año en 1937 en la calle 20 de mayo, esquina a Antonio Rubio. Debe su nombre a la madre de sus propietarios que se llamaba Concepción Martínez “Conchita”. La Fábrica comenzó su producción con Pasta de Guayaba, destinada a meriendas de los niños en las escuelas.

En 1942 debido al crecimiento de las producciones y a la gran cantidad de trabajadores necesaria para ello fueron introducidas tecnologías extranjeras y ampliadas sus áreas de almacenes. Viendo estas posibilidades de mejora se compran los terrenos donde actualmente se encuentra la misma, km. 91 Carretera Central a 7 km. de la Ciudad de Pinar del Río, por sus proximidades al río, la topografía del terreno y mejores condiciones para instalaciones eléctricas. El 14 de Octubre de 1960 fue nacionalizada por el gobierno revolucionario y pasa a ser propiedad social.

Por Resolución 293 del Ministerio de la Industria Alimenticia con fecha 15 de diciembre de 1976, fue creada la Empresa de Conservas de Frutas y Vegetales La Conchita, la que durante todos estos años ha obtenido una gran cantidad de reconocimientos como La Bandera de Honor de la UJC, Centro de Tradición Heroica, Bandera Héroes de Moncada, Bandera Pedro Marrero, Bandera de Vanguardia Nacional, Condición Ejemplar de la Unión de Conservas, Centro Promotor XX Aniversario, Medalla de Oro en la Feria Internacional de Leipzig a la Pasta de Guayaba, Medalla a la Pasta de Guayaba en la Feria Internacional de La



Habana, Premio Especial de la Calidad a la Pasta de Guayaba en Alimexpo 92, Certificación del Sistema HACCP en la Línea de Néctares y Jugos 06, además de la participación destacada en eventos tanto nacionales como internacionales de calidad, tecnología, comerciales etc.

✓ **Objeto Social.**

La Empresa de Conservas de Vegetales “La Conchita” tiene su objeto social aprobado por el Ministerio de Economía y Planificación, mediante la Resolución No. 290/01 del 16 de Abril del 2001. El mismo abarca los siguientes aspectos:

- Producir y comercializar, de forma mayorista y en moneda nacional y divisas, conservas y semielaborados de frutas, vegetales, legumbres y viandas mediante la transformación y utilización de materias primas agrícolas nacionales e importadas, salsas, aderezos, mayonesas, especias y condimentos, jugos, néctares, compotas, alimentos infantiles, mini dosis, infusiones y otras producciones de la Industria de Conservas con destino a la exportación y el mercado nacional.
- Comercializar de forma mayorista en moneda nacional y divisas las producciones del resto de las Empresas del Sistema de la Unión de Conservas.
- Prestar servicios de transporte de carga a entidades del Ministerio de la Industria Alimenticia y a terceros; en moneda nacional, a partir de capacidades eventualmente disponibles.
- Ofrecer servicios de gastronomía en moneda nacional a los trabajadores de la entidad y del sistema de la Industria Alimenticia en las instalaciones del Ranchón.

✓ **Misión.**

La Misión de la empresa es:

- La Empresa de Conservas de Vegetales La Conchita tiene como misión: Producir Conservas, Semielaborados de Frutas, Vegetales y Mini dosis

para comercializar en el Mercado Nacional e Internacional, con calidad, eficiencia y eficacia acorde a las demandas y necesidades de los clientes.

✓ **Visión.**

La Visión de la Empresa es:

- ➡ Ser la Empresa líder en el mercado de Jugos Embotellados en el sector captador de Divisas manteniendo de forma estable 6 sabores.
- ➡ Tener el 100 % de la cartera de productos en el Mercado en Divisas y se exporta a varios países como España, Italia y México, cremas de frutas.
- ➡ Introducción en la exportación de nuevos productos como los jugos y las mermeladas

## 2.2 Cantidad de tomates procesados en las últimas campañas.

En la Tabla 9 se observa la cantidad de tomate en los últimos 5 años de la Fábrica de Conservas de Vegetales “La Conchita” de Pinar del Río.

**Tabla 9.** Cantidad de producción de tomate en toneladas (2006-2010)

AÑO	TONELADAS PRODUCIDAS
2006	4500
2007	3000
2008	6700
2009	21169
2010	9999
	TOTAL 45368

Fuentes: Jefe de Departamento de Producción de la Fábrica de Conservas de Vegetales “La Conchita” de Pinar del Río.

En la **Tabla 10** se muestra las cantidades de residuos de tomate (cascarilla y semilla) desde el año 2006 hasta 2010.

**Tabla 10.** Cantidad de residuos de tomate (cascarilla y semillas)

<b>AÑO</b>	<b>TONELADAS PRODUCIDAS</b>	<b>TONELADAS DE RESIDUOS DE TOMATE CASCARILLA Y SEMILLA (6 %)</b>	<b>TONELADAS DE RESIDUOS DE TOMATE CASCARILLA Y SEMILLA DIARIOS (6%)</b>
2006	4500	270	0.74
2007	3000	180	0.49
2008	6700	402	1.10
2009	21169	1270.14	3.48
2010	9999	599.94	1.64
<b>TOTAL</b>	<b>45368</b>	<b>2722.08</b>	<b>7.45</b>

Fuentes: Jefe de Departamento de Producción de la Fábrica de Conservas de Vegetales "La Conchita" de Pinar del Río.

Cabe señalar que en el año 2009 se obtuvo una producción record de 21169 toneladas de tomate debido a unas buenas condiciones climáticas, cantidad de posturas plantadas, calidad de la semilla y excelentes resultados de la cosecha por hectárea.

Por la inestabilidad en el comportamiento de residuos de tomate nos vemos en la necesidad de tomar la de menor producción que equivale a 3000 toneladas que se produjo en el año 2007 para garantizar la selección correcta de nuestro biodigestor.

### **2.2.1 Cantidad de biomasa disponible (residuo de tomate).**

Los cálculos realizados para conocer la cantidad de residuos de tomate están basados en el programa de crecimiento de la empresa

La determinación de las potencialidades de los residuos de tomate para la producción de biogás, está basada en el cálculo realizado de los últimos 5 años.

$$\text{Crt} = \text{Ttm} * \text{rt}; \text{t/año.}$$

**2.1**

Donde:

**Crt** = Cantidad de residuo de tomate      ton/año.

**Ttm** = Toneladas de tomate molido,      t/año.

**rt** = % residuo de tomate.      (6 %)

Después de calcular la cantidad de residuos disponible diariamente se calcula la cantidad de biomasa que produce los residuos de tomate disponible con la cantidad de agua necesaria para garantizar el desarrollo adecuado de la anaerobiosis metanogénica, la cual se obtiene por la expresión:

$$C_B = C_{rt} + P_{rt-H_2O}; \quad t/año. \quad 2.2$$

Donde:

**C<sub>B</sub>** = cantidad de biomasa      (ton)

**P<sub>rt-H<sub>2</sub>O</sub>** = Cantidad de agua según la proporción tomate -agua.      (m<sup>3</sup>)

#### • Tiempo de retención      2.2.1

$$TR = C_B \times 1.3$$

Donde:

**C<sub>B</sub>** = Cantidad de biomasa diaria. (ton)

El factor 1,3 es un coeficiente que depende de la temperatura, la cual para garantizar un funcionamiento óptimo del biodigestor para cualquier época del año, se ha asumido como 25 °C.

#### 2.2.2 Cálculo del volumen de biogás.

Posteriormente se procede al cálculo del volumen de biogás que produce la cantidad de biomasa disponible. Este volumen se puede calcular según:

$$B.P = C_{rt} * 420 \quad m^3 / t. \quad 2.3$$

Donde:

**Crt** = toneladas de biomasa.      (ton)

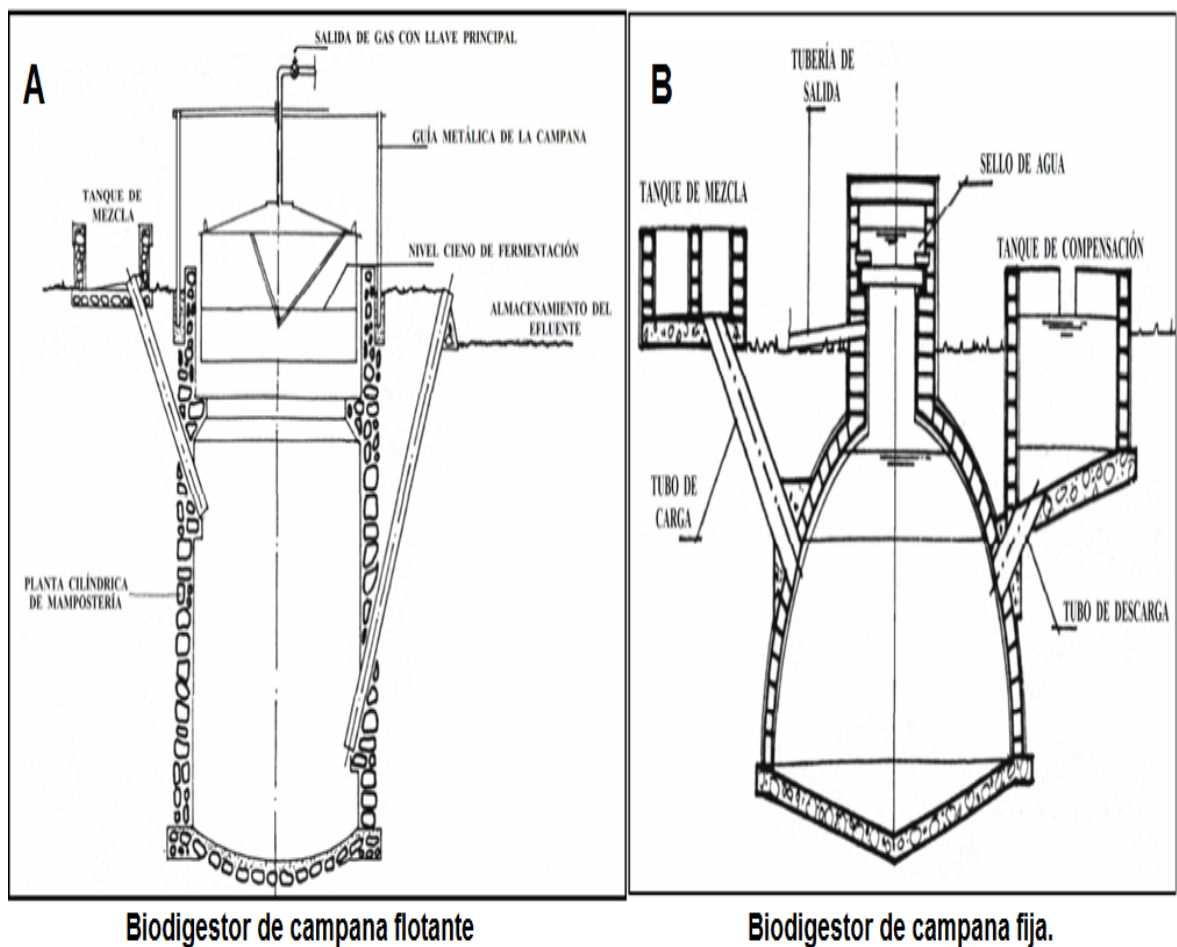
Una tonelada de tomate produce 420 m<sup>3</sup> de biogás como se puede observar en la tabla 12.

### 2.3 Selección del tipo de biodigestor.

Se realizó el estudio y la comparación entre los biodigestores más utilizados porque se necesita la particularidad del modelo de biodigestor más viable a diseñar, porque nos proporcionan diversas ventajas, los cuales son:

- ✓ Biodigestor modelo Hindú o de campana flotante
- ✓ Biodigestor modelo Chino o de cúpula fija.

Para la selección del modelo de biodigestor se tomaron en cuenta las características que se muestran en la figura 7.



**Figura 7:** Características entre los biodigestores A y B.

Fuente: <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>

Se selecciono para esta Investigación el Modelo Chino o cúpula fija ya que para su construcción se emplearán solo materiales convencionales como ladrillo, bloque, cemento, etc., el mismo no posee partes metálicas sujetas a corrosión y con un buen mantenimiento puede tener una vida útil de hasta 20 años.

Durante esta selección se realizaron las siguientes observaciones:

- ✓ La instalación y mantenimiento debe ser sencilla de bajo costo, segura y de fácil manejo.
- ✓ El biogás substituirá a la leña, el carbón o algún derivado del petróleo proveyendo además un biofertilizante.
- ✓ El modelo a elegir debe ser eficaz para las condiciones climáticas locales.
- ✓ El proyecto se elaborara según la materia prima disponible en este caso los residuos de tomate.
- ✓ La localización será la apropiada según la distancia de los puntos de consumo, la ubicación de los residuos y la fuente de agua.
- ✓ Las consideraciones dependientes del tamaño para el diseño de una planta de biogás incluyen: la cantidad y el tipo de desperdicios disponibles, las dimensiones de los trozos o partículas, el requerimiento de calefacción, la necesidad de agitación, el tiempo de retención y la disponibilidad de materiales de construcción.

### **2.3.1 Cálculo del biodigestor.**

El volumen del biodigestor se puede obtener por la siguiente expresión matemática:

$$V_D = \frac{C_{BR}}{\rho_m} m^3 \quad 2.4$$

Donde:

$\rho_m$  = masa volumétrica de la biomasa; kg/m<sup>3</sup>.

Para el tratamiento se recomienda emplear un metro cúbico de capacidad en el biodigestor por cada 1000 kg de biomasa, pues se considera que la biomasa, formada en sus tres cuartas partes por agua, posee una densidad equivalente a la de ésta.

Otro cálculo importante que se realiza es el de la cantidad de digestores que se necesitan para hacer funcionar la planta. Este número de digestores se calcula mediante la siguiente relación:

$$N_D = \frac{V_D}{V_{D1}} ; U \quad 2.5$$

Donde:

$V_{D1}$  = Volumen de un digestor;  $m^3$

El cálculo de las dimensiones del biodigestor se realiza según la metodología planteada por Guardado, (2007).

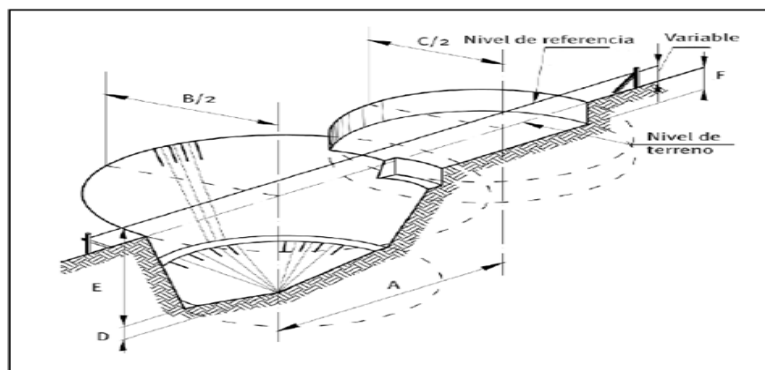
Cuando el terreno se encuentra libre de escombros, se procede al replanteo del biodigestor y el tanque de compensación. Según el volumen del digestor que previamente se haya seleccionado y utilizando los valores de la **tabla 12**.

**Tabla 11:** Dimensiones de biodigestores típicos

Digestores típicos ( $m^3$ )	Dimensiones principales de la excavación (m)					
	A	B	C	D	E	F
12	2,9	1,8	1,7	0,45	3,2	1,32
24	3,1	2,2	1,9	0,6	3,5	1,37
42	3,6	2,6	2,1	2,72	4	1,37

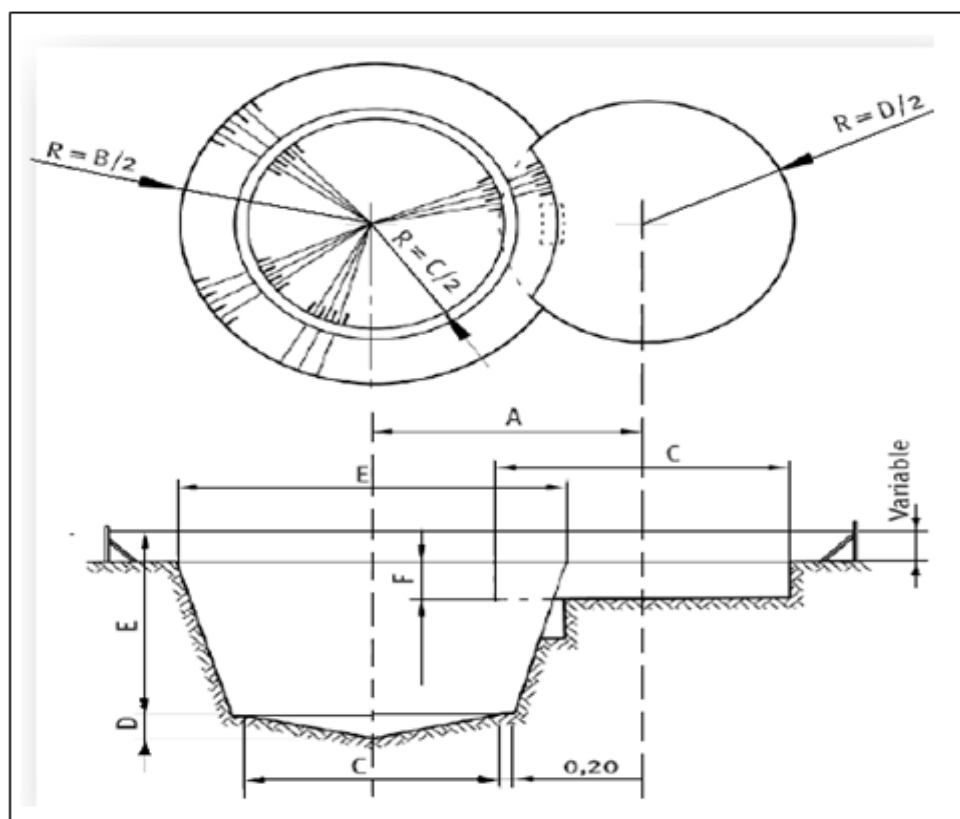
Fuente: (José Antonio Guardado. Diseño y construcción de plantas de biogás. Editorial Cubasolar 2007).

Se marcan en el terreno las distancias indicadas en las figuras 8 y 9 empleando para ello estacas, cuerdas y una manguera para correr niveles.



**Figura 8:** Excavación para biodigestores típicos del tipo Nicarao, desde 12 hasta 42  $m^3$ .

Fuente: (José Antonio Guardado. Diseño y construcción de plantas de biogás. Editorial Cubasolar 2007)



**Figura 9:** Planta y corte de la excavación para biodigestores típicos del tipo Nicarao, desde 12 hasta 42 m<sup>3</sup>

Fuente: (José Antonio Guardado. Diseño y construcción de plantas de biogás. Editorial Cubasolar 2007).

**Tabla 12.** Rendimiento en metano de algunos residuos de frutas y verduras.

Rendimiento en metano de algunos residuos de frutas y verduras			
Tipo de residuo	Temperatura (°C)	Reactor laboratorio	Rendimiento en CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> SV)
Procesado de tomate	35	CSTR <sup>a</sup>	0,420
Mezcla de naranja, coliflor, lechuga, pepino, tomate y sandía.	35	Reactor en dos etapas FFR <sup>b</sup>	0,383-0,510
Hojas de coliflor	35	Discontinuo	0,341-0,352
Hojas de repollo	35	Discontinuo	0,343-0,382
Pulpa de remolacha	35	Discontinuo	0,360-0,382
<i>a: Continuous stirred tank reactor ; b: Fixed film reactor</i>			

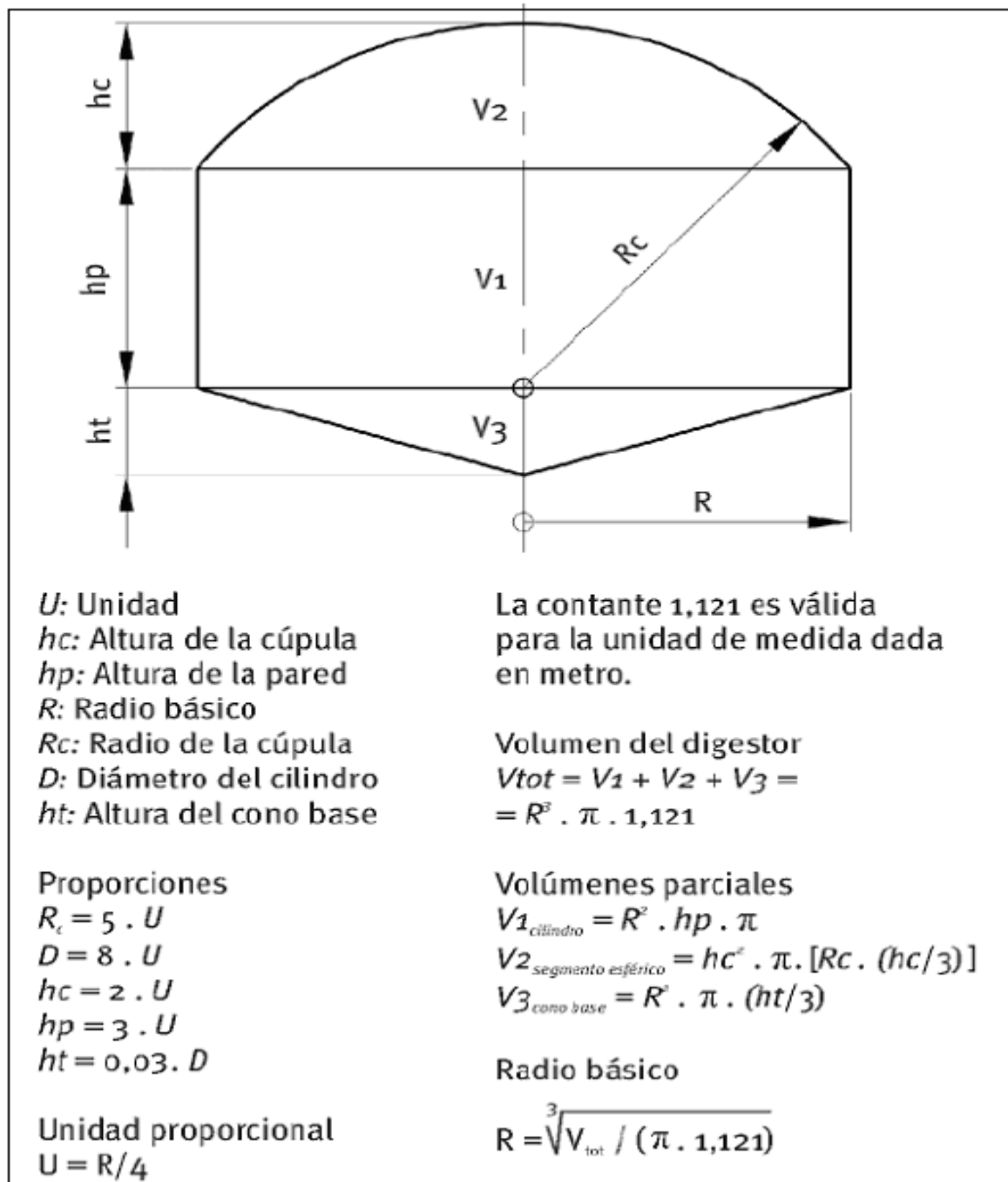
Fuente: Producción de biogás a partir de residuos vegetales. C. Vereda Alonso, C. Gómez Lahoz, F. García Herruzo y J.M. Rodríguez Maroto. Dpto. de Ingeniería Química Universidad de Málaga

De la tabla 6 de la revisión bibliográfica se toma una composición del biogás del 65 % de metano y el otro restante del 35 %. A partir del rendimiento de metano



de  $0.420 \text{ m}^3/\text{kg}^{-1}$  de residuos según la Tabla 10 podemos tomar un valor de producción de biogás de  $0.65 \text{ m}^3/\text{kg}$  de residuos.

Las fórmulas fundamentales que se emplean para el dimensionamiento del biodigestor Modelo Chino, de cúpula fija (caracterizado por sus tres partes: cónica, cilíndrica y esférica), se exponen en la Figura 10.



**Figura 10:** Formulas para el dimensionamiento del biodigestor de cúpula fija.

Fuente: (José Antonio Guardado. Diseño y construcción de plantas de biogás. Editorial Cubasolar 2007).

Los pasos que se deben seguir para su empleo son los siguientes:

1. Se calcula el volumen total ( $V_{tot}$ ), sobre la base del volumen de la mezcla agua-residuos de tomate y el tiempo de retención.
2. Se calcula el radio del volumen predefinido ( $R$ ).
3. Se calcula la unidad en metros ( $U = R/4$ ).
4. Se determina el resto de las denominaciones.

Las ventajas de las plantas de cúpula fija para las condiciones cubanas las han situado como el tipo de biodigestor más propuesto por los ingenieros y proyectistas nacionales para la solución de los residuales agropecuarios, entre ellas están:

### **2.3.2 Cálculo del volumen de la carga diaria:**

Partiendo de la expresión para el cálculo del volumen del biodigestor se calcula el volumen de la carga diaria:

$$V_{cd} = \frac{V_D}{T_R} ; \text{ m}^3/\text{día} \quad 2.6$$

Donde:

$V_{cd}$  = Volumen de la carga diaria;  $\text{m}^3$

$V_D$  = Volumen del biodigestor;  $\text{m}^3$

### **2.3.3 Cálculo del volumen de la cámara de carga.**

Esta cámara en cualquier tipo de planta con alimentación semicontinua, tiene un volumen mayor que el volumen de carga diario, entre 10-20 % (Guardado, 2007). El volumen de la cámara de carga considerando una reserva del 15 % en relación al volumen de la carga diaria se determina por la siguiente expresión:

$$V_{cc} = C_d + 15\% \times C_d, \text{ m}^3 \quad 2.7$$

### **2.3.4 Cálculo del volumen del tanque de compensación.**

El tanque de compensación tiene un volumen equivalente al volumen de gas en el segmento esférico:  $V_2 = V_{tc}$ ; conociendo que el radio del digestor es igual al radio del tanque de compensación se determina la altura ( $h$ ) del cilindro por la expresión:

$$h = V_{tc} / (\pi * R^2). \quad 2.8$$

Dejando un borde libre de 20 cm, la altura total será:

$$h_{tc} = h + 0,20 \quad 2.9$$

## CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1 Disponibilidad de biomasa de residuos de tomate.

De los residuos de tomate se empleara 0.49 toneladas diarias para garantizar la producción estable de biogás.

#### 3.1.1 Cálculo de la cantidad de tomate en el año 2007.

Los resultados del cálculo de la cantidad de residuos de tomate que se produjo en los periodos 2006-2010 se pueden observar en la tabla 10 del segundo capítulo.

En la **Tabla 13** se puede observar la cantidad de tomate producido en el año 2007 y el empleo de los datos del mismo para el proyecto.

**Tabla 13:** Cantidad de residuo de tomate en el año 2007.

AÑO	TONELADAS PRODUCIDAS	TONELADAS DE RESIDUOS DE TOMATE CASCARILLA Y SEMILLA (6%)	TONELADAS DE RESIDUOS DE TOMATE CASCARILLA Y SEMILLA DIARIOS (6%)
2007	3000	180	0.49

Fuente: Estadística de la empresa.

### 3.2 Cálculo de la Cantidad de biomasa disponible.

Como se aprecia en la tabla 13 y 14 la menor cantidad de residuos generadas es de 0.49 t que será el valor empleado para la selección del equipamiento.

**Tabla 14:** Cantidad de biomasa disponible:

Biomasa	C <sub>c,prom</sub> t/día	Proporción tomate : agua	C <sub>B</sub> , t/día
Residuo Tomate	0.49	1:3	1.47

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1 Cantidad de biomasa disponible según el tiempo de retención.

Considerando un tiempo de retención de 30 días para la estabilización en el reactor de la cantidad de biomasa disponible, se calcula la cantidad de biomasa disponible, la cual se muestra en la Tabla 15:

**Tabla 15:** Cantidad de biomasa disponible según el tiempo de retención.

Tipo	$C_B$ , t/día	$T_R$ , días	$C_{BR}$ , t
Tomate	1.47	30	44.1

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Cálculo del potencial de biogás que posee la empresa.

Los datos obtenidos de disponibilidad de materia orgánica permiten determinar el potencial de biogás diario que posee la Empresa, los mismos se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16.** Potencialidades de biogás diario esperado en la empresa.

Biomasa	$C_{ca}$ , tn.	biogás por tonelada, $m^3/t$	Potencial de Biogás; $m^3$
Tomate	0.49	420	205.8

Fuente: Elaboración propia

Como el biodigestor seleccionado es del tipo chino de  $50 m^3$ , y sus rendimientos no exceden los  $0.4 m^3$  de biogás/ $m^3$  de biodigestor solo estimaremos una producción de  $20 m^3$  diario.

### 3.3 Cálculo del biodigestor.

El diseño del biodigestor se realizó atendiendo a la posibilidad de sustituir el combustible que se emplea en la generación de vapor y a las ventajas de las plantas de cúpula fija para las condiciones cubanas, lo cual las han situado como

el tipo de biodigestor más propuesto por los ingenieros y proyectistas nacionales para la solución de los residuales.

### 3.3.1 Cálculo del volumen del Biodigestor.

Para el Cálculo del volumen del biodigestor, inicialmente se calcula el Volumen total de digestión y posteriormente la cantidad de biodigestores que se necesitan para hacer funcionar la planta.

El volumen total de digestión se obtiene según la expresión 2.4:

$$V_D = \frac{44100}{1000} = 44.1 \text{ m}^3$$

Después de los cálculos realizados el volumen total del biodigestor es 44.1 m<sup>3</sup>, según la propuesta de Guardado 2006, tomaremos 1 biodigestor de 50 m<sup>3</sup>.

### 3.3.2 Cálculo del volumen de la carga diaria:

Partiendo de la expresión para el cálculo del volumen del biodigestor, se obtiene el volumen de carga diaria:

$$Cd = \frac{50}{30} = 1.66 \text{ m}^3/\text{día}.$$

El valor obtenido de la carga diaria de 1.66 m<sup>3</sup>/día es apropiado para un biodigestor mediano (50 a 100 m<sup>3</sup>) (Guardado, 2007).

### 3.3.3 Cálculo del radio del volumen predefinido (R):

$$R = \sqrt[3]{50 / (4.14 * 1.121)} = \sqrt[3]{14.20} = 2.42 \text{ m}$$

### 3.3.4 Cálculo de la Unidad proporcional:

$$U = \frac{2.42}{4} = 0.605 \text{ m}$$

### 3.3.5 Cálculo de las proporciones:

RADIO DE LA CÚPULA	RC = 5 x 0.605 = 3.025 m
DIÁMETRO DEL CILINDRO	D = 8 x 0.605 = 4.84 m
ALTURA DE LA CÚPULA	hC = 2 x 0.605 = 1.21 m

ALTURA DE LA PARED

$$h_P = 3 \times 0.605 = 1.815 \text{ m}$$

ALTURA DEL CONO BASE

$$h_t = 0.03 \times 4.48 = 0.14 \text{ m}$$

Al comparar los valores obtenidos de los parámetros del biodigestor del presente proyecto con los de otros biodigestores típicos construidos y en explotación actualmente se aprecia similitud en los mismos, lo cual indica la validez de los mismos.

### 3.3.6 Cálculo de los volúmenes parciales

Aplicando las expresiones del capítulo anterior se obtiene:

VOLUMEN DEL CILINDRO

$$V_1 = 33.39 \text{ m}^3$$

VOLUMEN DEL SEGMENTO ESFERICO

$$V_2 = 15.72 \text{ m}^3$$

VOLUMEN DEL CONO BASE

$$V_3 = 0.89 \text{ m}^3$$

### Comprobación

$$V_{\text{tot}} = V_1 + V_2 + V_3 = R^3 \times \pi \times 1.121 = 50 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tot}} = 33.37 + 15.72 + 0.89 = 49.40 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{tot}} = (2.42)^3 \times \pi \times 1.121 = 49.9 \text{ m}^3$$

Por lo tanto se consideran aceptables las dimensiones predeterminadas del biodigestor.

### 3.3.7 Cálculo del volumen de la cámara de carga:

El volumen de la cámara de carga considerando una reserva del 15 % en relación al volumen de la carga diaria se determina por la siguiente expresión.

$$V_{cc} = C_d + 15\% \times C_d$$

$$V_{cc} = 1.66 + 15\% \times 1.66$$

$$V_{cc} = 2.06 \text{ m}^3$$

Según experiencias prácticas de plantas de este tipo construidas en el País se asume una longitud de 2.00 m y un ancho de 1.10 m de la cámara de carga por lo cual la altura calculada por la siguiente expresión es igual a:

$$h = \frac{2.59}{2.20} = 1.18 \text{ m}$$

En la cámara de carga es conveniente construir el piso con una pequeña inclinación hacia el lado opuesto del tubo de carga, para evitar que materiales inertes (piedras, metales, otros) penetren en el biodigestor por accidente arrastrados por el sustrato y dejar una abertura en el lado de la inclinación, para evacuar los mismos.

El tubo que comunica la cámara de carga con el biodigestor es de PVC con un diámetro de 13.2 cm. El extremo que penetra en el biodigestor debe estar a una altura de 1.90 cm del fondo, para evitar que el material sedimentado lo obstruya.

### **3.3.8 Cálculo del volumen del tanque de compensación.**

El tanque de compensación tiene un volumen equivalente al volumen de gas en el segmento esférico  $V_2 = V_{tc}$ ; conociendo que el radio del digestor es igual al radio del tanque de compensación se determina la altura (h) del cilindro por la expresión siguiente:

$$h = \frac{V_{tc}}{\pi x R^2}$$

$$h = \frac{15.72}{\pi x 2.42^2} = 0.85 \text{ m}$$

Dejando un borde libre de 20 cm, la altura total se calcula con la siguiente expresión.

$$h_{tc} = h + 0.20 = 1.05 \text{ m}$$



### **3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO**

Se debe tener en cuenta que para diseñar un biodigestor, los costos dependen básicamente de la tecnología que se use en el así como también de los requerimientos de producción, teniendo presente que la implementación de un biodigestor no constituye un gasto, sino una inversión que traerá a mediano y largo plazo grandes beneficios económicos y ambientales a la fabrica. El análisis de los costos para la construcción del biodigestor se tomó los datos obtenidos por (González 2010) cuya propuesta consistió en un biodigestor de 50 m<sup>3</sup> de capacidad y se plantearon los costos del biodigestor de propuesto anteriormente.

Los valores obtenidos en el análisis de los costos de construcción de un biodigestor son 1121.67 CUC en su totalidad. Los materiales son de fácil accesibilidad así como la mano de obra calificada y los obreros. Lo que representa una fácil construcción de este tipo de biodigestor, estos valores se muestran en las tablas 17 y 18.

**Tabla 17:** Costo de mano de obra

<b>MANO DE OBRA</b>				
<b>Operación</b>	<b>Cantidad y tipo de obrero</b>	<b>Labor</b>	<b>Días laborables</b>	<b>Salario CUC</b>
<b>Construcción</b>	3 albañiles	Paredes de las cámaras	80	51.60
	2 ayudantes	Preparación del mortero	80	34.4
	4 obreros de la empresa	Pozo y pintura	15	34.4
<b>Mantenimiento</b>	3 obreros	Limpieza y pintura	8 horas y 3 veces al año	7.74
<b>Recolección de los residuos de tomate y almacenamiento</b>	4 obreros	Recolección del efluente y almacenamiento	4 horas/día todo el año	39.24
<b>Utilización del gas</b>	1 tornero	Adaptación de equipos	1	3.44
<b>TOTAL</b>				<b>170.82</b>

Fuentes: Departamento Técnico de la Delegación Provincial del Ministerio de la Construcción (MICONS) en Pinar del Río y Departamento de Abastecimiento Técnico Material (ATM) de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca" (González).

**Tabla 18:** Costos de los materiales de construcción

NO	MATERIALES	U/M	CANTIDAD	PRECIO CUC
1	Cabilla de 1/4"	m	115	95.8
5	Ladrillo de barro de 25x12x7 cm.	u	1420	36.69
6	Bloque de hormigón 15x40x20cm	u	800	233
7	Cemento Portland 250 (50kg)	Saco	125	508
9	Arena Lavada	m <sup>3</sup>	9.5	7.56
11	Piedra ¾"	m <sup>3</sup>	6.3	3.78
12	Cal apagada	Saco	1	1.50
13	Tubo PVC 2"	M	3	21.60
17	Válvula de bola de 1"	u	2	25.72
21	Alambre de amarrar cabilla	kg	4	9.17
22	Clavos de 3"	kg	3.5	8.03
<b>TOTAL</b>				<b>950.85.</b>

Fuentes: Departamento Técnico de la Delegación Provincial del Ministerio de la Construcción (MICONS) en Pinar del Río y Departamento de Abastecimiento Técnico Material (ATM) de la Universidad de Pinar del Río "Hermanos Saiz Montes de Oca" (González).

En la tabla 19 se hace un resumen de las posibilidades reales del uso del biogás producido.

**Tabla 19:** Volumen de digester producción de biogás por día y uso el mismo

VOL. DIGESTOR m <sup>3</sup>	PRODUCCIÓN DE BIOGAS m <sup>3</sup> /día	USOS DEL BIOGAS		COSTOS DE LOS MATERIALES Y MANO DE OBRA CUC	FERTILIZANTE ORGANICO t/año	PRI AÑOS
		COCINAR	G.E kWh			
50	20	Dos hornillas industrial es 8 horas.	47.2	1121.67	18.0	1-2

### **3.5 IMPACTO AMBIENTAL**

La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores.

El uso del biogás para la generación de electricidad da un valor adicional al empleo de biodigestores en las empresas agropecuarias. Aunque los resultados económicos no se pueden generalizar pues cambiarán de acuerdo a las circunstancias de cada lugar, en la utilización del biogás en motores diesel para generación de electricidad ha demostrado importantes beneficios económicos además de las ventajas anteriormente mencionadas.

Entre las ventajas que nos proporciona el biogás tenemos:

- ✓ Permite un manejo adecuado de los desechos.
- ✓ Evita los malos olores entre el 90 y 100%.
- ✓ Se evita la contaminación de suelos y agua.
- ✓ Se evita la tala de árboles para ser utilizados como combustible
- ✓ La producción de fertilizante orgánico
- ✓ No se da la proliferación de insectos.
- ✓ No hay peligro de explosiones, el cilindro de gas tradicional siempre es un peligro constante; el biodigestor nunca podrá ser una amenaza dentro de una casa.
- ✓ Las reparaciones del biodigestor son sencillas.
- ✓ Es una inversión para muchos años.
- ✓ El mantenimiento es de bajo costo.

## CONCLUSIONES

Una vez efectuada esta investigación, se llegan a las siguientes conclusiones:

- Los datos facilitados en la fábrica de conservas “La Conchita” nos permitieron determinar que existe un potencial mínimo de residuos de tomate de 0.49 ton/día para diseñar 1 biodigestor con una capacidad de 50 m<sup>3</sup>.
- Las dimensiones principales del biodigestor obtenido son: diámetro 4.84 m y una altura de 3.21 m.
- Una vez construido el biodigestor en la fábrica se espera obtener 205.8 m<sup>3</sup> de biogás
- La propuesta es favorable, en la medida que se coloca al servicio del hombre técnicas viables desde el punto de vista económico y se eleva el nivel de vida del mismo con criterios ambientales.
- Los resultados económicos no se pueden generalizar pues cambiarán de acuerdo a las circunstancias de cada lugar.

## RECOMENDACIONES

- Poner en marcha la construcción del biodigestor en la fábrica de conservas “La Conchita” para obtener biogás y bioabono el mismo que puede ser empleado para la cocción de alimentos y cultivo de tomate.
- Se recomienda aplicar el actual proyecto en fábricas, fincas y haciendas agropecuarias por su bajo costo y su alto rendimiento en bioabono así como por el ahorro de energía que supone la utilización del biogás, lo que le convierte en una fuente de energía viable, útil, renovable y sobretodo no contaminante.
- El biodigestor debe estar localizado lo más cerca posible a la fuente de producción de materia prima y el lugar de consumo para evitar grandes costos de transportación y pérdidas de presión en las tuberías. Además el digestor debe estar en un lugar donde le permita captar la mayor cantidad de rayos solares con el objeto de aumentar su producción de biogás.
- Debe considerarse seriamente la seguridad personal en la operación del biodigestor para evitar accidentes, no se podrá realizar trabajos en caliente cerca del mismo, las personas que manipulen diariamente deben tener una inducción de los riesgos en la manipulación del biogás como un gas inflamable.

## BIBLIOGRAFÍA

- ✓ Antón F. A. (1992). Compostaje de los residuos orgánicos: Urbanos y Agrarios. I Problemática de los residuos orgánicos. Cuadernos de Fitopatología 1, Septiembre, 113-121.
- ✓ Carpintero, O (2006). «Biocombustibles y uso energético de la biomasa: un análisis crítico». El ecologista (49). ISSN 1575-2712. <http://habitat.aq.upm.es/bioc/aocar.html>
- ✓ Castillo, G.ITCR. Hashimoto A.G. Y.R Chen. Methane and Protein from animal feedlot wastes, Journal of Soil and Water Conservation 1979.
- ✓ CEIN (1998). Informes Sectoriales. Conservas de Frutas y Hortalizas, 23, CEIN, S.A.
- ✓ Chávez M.E., Chi H., Gutiérrez L. Equipo de Sistemas Integrados de Producción Agropecuaria Conservacionista SIPCo Extensión Agrícola. P. Z. 2000.
- ✓ Costa F., García C., Hernández T., Polo A. (1991). Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC.
- ✓ Esteban A. (2008). «Biocombustibles: la agricultura al servicio del automóvil». El ecologista (56). ISSN 1575-2712. <http://habitat.aq.upm.es/bioc/aaest.html>.
- ✓ FAO 1997; Reunión Regional sobre Biomasa para la producción de energía y alimentos: Aprovechamiento de Desechos Agropecuarios para la Producción de Energía; Daniel Alkalay Universidad Técnica Federico Santa María- Chile.
- ✓ Fonolla, J., Boza, J.A. (1993) Utilización de los residuos del espárrago, procedentes de la industria conservera en la alimentación de rumiantes. Avances en la alimentación y mejora animal, 33(6): 163-165.
- ✓ Groppelli y Giampaoli (2001), "El Camino de la Biodigestión, Ambiente y Tecnología socialmente Aceptada", Santa Fe
- ✓ Guardado Chacón J. A. Tecnología del biogás. Editorial Cuba solar.
- ✓ [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)
- ✓ <http://www.ambientum.com/revistaecotimesabril>
- ✓ <http://www.clavis.es/entidad/inice/Per/BioMa/B00.htm>
- ✓ <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd14/1/Pedr141.htm>.

- ✓ <http://www.conae.gob.mx/renovables/biomasa.htm>CEIN (1998). Informes Sectoriales. Conservas de Frutas y Hortalizas, 23, CEIN, S.A.
- ✓ <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/energia/Energia34/HTML/articulo03.htm>
- ✓ <http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biogas-beneficios-economicos-utilizando>
- ✓ <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/Manual%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20biog%C3%A1s%20del%20IIR.pdf>
- ✓ <http://www.sepade.cl/proyectos/biodigestor.php>
- ✓ <http://www.solucionespracticas.org.pe>
- ✓ <http://tecnologia.mendoza.edu.ar/biogas/conceptos.htm>
- ✓ <http://www.textoscientificos.com/energia/biogas>
- ✓ Infantes Chávez P. 2006. Diseño de Biodigestores
- ✓ Instituto Nacional de Energía del Ecuador. Guía para la construcción de un Biodigestor.
- ✓ Lázaro L., Arauzo J. (1994). Aprovechamiento de residuos de la industria de conservas vegetales. Hidrólisis enzimática. Zulia (12), 227-240
- ✓ Larrauri J.A., Cereza P., Batista A.R., López B.A. (1994). Caracterización de residuos de tomate, pimiento y guayaba. Alimentaria, Abril 94, 81-85.
- ✓ López B. Especialista de CUBAENERGÍA. Miembro de CUBASOLAR.
- ✓ Mejía Sanchez A., 2001.1 Avances en la Gestión de residuos sólidos. OPS/OMS.
- ✓ Montanaro R., 2006. Producción de biogás\_1. Plantas Centralizadas y Simplificadas.
- ✓ Ostolaza M. (1998). Aprovechamiento Energético de residuos Orgánicos. Ingeniería Química, 30, 55-160.
- ✓ Sáenz J A., Sistematización de una experiencia exitosa en Producción de Biogás; Programa de Pequeñas Donaciones del PNUD/FMAM; octubre 2001. Soluciones Prácticas – TDG; Ficha Técnica Nº 8: Biodigestores.
- ✓ Urbáez, C. 2007. Trabajo de diploma. “Alternativa energética con enfoque de género en la Comunidad de Canalete, San Andrés, Pinar del Río”. Facultad de Geología y Mecánica. Pinar del Río. Cuba



- ✓ Vereda A., Gómez Lahoz C., García Herruzo F. y Rodríguez Maroto J.M.  
Producción de biogás a partir de residuos vegetales. Dpto. de Ingeniería  
Química. Universidad de Málaga.